



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
AEROSPAZIALE

**DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA DELLE
INFRASTRUTTURE VIARIE
*SSD ICAR04***

Ciclo XXII

***CREAZIONE DI UN DATABASE DI SUPPORTO PER LA
FORMAZIONE DEL CATASTO DELLE STRADE
EXTRAURBANE***

Tutor:
Prof. Ing. Orazio Giuffrè

Dottorando:
Ing. Marco Tarallo

CoTutor:
Prof. Ing. Leonardo Bruno

Coordinatore:
Prof. Ing. Orazio Giuffrè

*Dedico questo lavoro a tutti
coloro che, sul piano affettivo e
professionale, mi sono stati
vicini nell'entusiasmante
triennio appena trascorso.*

*Un particolare ringraziamento
va al Prof. Leonardo Bruno,
prezioso punto di riferimento ed
impareggiabile guida in questa
splendida esperienza personale e
culturale.*

Marco Tarallo

INDICE

	Introduzione	Pag. 1
1	Catasto delle strade	Pag. 5
1.1	Archivio Nazionale delle Strade	Pag. 5
1.2	Catasto stradale	Pag. 8
1.3	Classificazione delle strade	Pag. 8
	1.3.1 Classifica tecnico-funzionale	Pag. 9
	1.3.2 Classifica amministrativa	Pag. 11
1.4	Architettura del Catasto delle Strade	Pag. 14
	1.4.1 Precisazioni sui livelli	Pag. 16
1.5	Entità ed attributi	Pag. 21
	1.5.1 Giunzioni	Pag. 21
	1.5.2 Area di traffico	Pag. 22
	1.5.3 Elemento stradale	Pag. 22
	1.5.4 Localizzazione degli attributi segmentati	Pag. 32
	1.5.5 L'asse stradale	Pag. 33
	1.5.6 Profilo longitudinale	Pag. 34
	1.5.7 Profilo trasversale	Pag. 34
	1.5.8 Larghezza della strada	Pag. 35
1.6	Considerazioni sul Catasto delle strade	Pag. 35

2 GIS (Geographic Information System)	Pag. 39
2.1 Definizioni	Pag. 39
2.1.1 Standardizzazione dei dati geografici	Pag. 42
2.2 Software per la rappresentazione dei GIS	Pag. 45
2.2.1 Modelli digitali del terreno	Pag. 45
2.2.2 Produzione delle carte numeriche	Pag. 47
2.2.3 3DCarto ®	Pag. 51
2.2.4 ArcGIS ®	Pag. 55
2.3 Metodologie di acquisizione dei dati geografici	Pag. 59
2.3.1 Tecniche a Laser Scanning	Pag. 59
2.3.2 Ortofoto	Pag. 62
2.3.3 Immagini satellitari ed aeree ad alta risoluzione	Pag. 65
2.3.4 I satelliti artificiali	Pag. 66
2.3.5 I Veicoli strumentati	Pag. 67
3 Piattaforme utilizzate per la procedura proposta	Pag. 73
3.1 Generalità	Pag. 73
3.1.1 Google Earth ®/map	Pag. 74
3.1.2 La piattaforma Matlab	Pag. 80
4 Descrizione dell'applicazione	Pag. 83
4.1 Generalità	Pag. 83
4.2 FASE 1: Acquisizione dei dati e popolazione del DBS.	Pag. 84
4.2.1 Articolazione della procedura (fase 1)	Pag. 86
4.2.2 Algoritmo1: ricerca dei codici delle FS e caricamento dei dati	Pag. 88
4.2.3 Algoritmo2: determinazione grafica delle etichette	Pag. 97
4.2.4 Algoritmo 3: individuazione grafica del tipo di strada	Pag. 102
4.2.5 Routine di gestione degli algoritmi 4-10	Pag. 103
4.2.5.1 Algoritmo 4: andamento planimetrico dell'asse	Pag. 105
4.2.5.2 Algoritmo 5: individuazione delle giunzioni	Pag. 106
4.2.5.3 Algoritmo 6: Individuazione grafica degli accessi	Pag. 107

4.2.5.4	Algoritmo 7: Determinazione della larghezza della carreggiata, delle corsie delle banchine	Pag. 110
4.2.5.5	Algoritmo 8: Individuazione dei segnali verticali	Pag. 116
4.2.5.6	Algoritmo 9: organizzazione del DBS e il generazione del grafo	Pag. 118
4.2.5.7	Algoritmo 10: gestione dei dati nella fase di generazione del DBS	Pag. 120
4.3	FASE 2: Gestione del DBS da parte degli utenti	Pag. 121
4.3.1	Struttura G.U.I. 1: gestione delle credenziali	Pag. 122
4.3.2	Struttura G.U.I. 2 - Analisi e Dati Catasto	Pag. 123
4.3.2.1	Sezione corrente	Pag. 125
4.3.2.2	Giunzioni	Pag. 128
5	Conclusioni	Pag. 131
	Bibliografia	Pag. 135

INTRODUZIONE

L'istituzione di un Archivio Nazionale delle Strade (ANS) è sancita dal comma 6 dell'Art.13 del D.Lgs. n. 285 del 30 aprile 1992 ("Nuovo Codice della Strada"). In ottemperanza a quanto disposto da tale D.Lgs. è stato emanato il relativo regolamento attuativo che delinea sommariamente le caratteristiche e l'architettura del suddetto archivio nazionale (D.P.R n. 495 del 16 dicembre 1992).

Nel D.P.R n. 495/92 si precisa che la prima sezione dell'ANS deve contenere *"l'elenco delle strade distinte per categorie, come indicato dall'art. 2 del codice; per ogni strada è indicato lo stato tecnico e giuridico della stessa, con i relativi dati concernenti la strada in sé, la sua percorribilità nei vari tratti, le caratteristiche tecniche geometriche e strutturali delle infrastrutture, le caratteristiche dei mezzi circolanti e le eventuali limitazioni di traffico anche temporanee, nonché tutte le occupazioni, le pertinenze, gli edifici, gli attraversamenti, giusta gli articoli da 20 a 33 del codice."* Tale sezione dell'archivio costituisce il Catasto delle Strade (CdS). Italiano, detto anche Catasto Strade o Catasto Stradale.

L'elenco completo dei dati che devono popolare il Catasto ed ulteriori specifiche in merito alla struttura ed alla organizzazione dei dati stessi vengono riportate nel DMLLPP (Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici) del 01/06/2001: "Modalità di istituzione ed aggiornamento del Catasto delle strade ai sensi dell'art. 13, comma 6, del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285, e successive modificazioni" riportato nel supplemento ordinario n. 6 della Gazzetta Ufficiale N. 5 del 07 Gennaio 2002.

Gli Enti concessionari o gestori del patrimonio infrastrutturale stradale, in base alle disposizioni legislative sopra riportate, avrebbero dovuto popolare il catasto delle strade di competenza secondo lo standard GDF (Geographic Data File) e trasmetterlo telematicamente e secondo una tempistica ben definita all'Archivio Nazionale.

Dai risultati di un questionario presentato nel 2006 dal Comitato tecnico C 4.1 (Gestione del Patrimonio Stradale) si evince che, a quella data, gli Enti che avevano completato e trasmesso il GDF erano molto pochi. Dall'esame di tutta la documentazione al riguardo presente in rete risulta che, ancora ad oggi, la situazione non è molto cambiata. In base a quanto riportato in tale documentazione e ad un'analisi critica delle disposizioni in merito alle modalità per la formazione del GDF si è compilato un elenco, riportato in uno dei successivi capitoli, dei motivi e delle problematiche che giustificano la mancata ottemperanza delle norme. Tali motivi sono riconducibili essenzialmente a:

- insufficienza delle risorse economiche degli Enti locali per affrontare una campagna di rilievo di tutti i dati previsti dal DMLLPP;
- precisione prescritta dei dati e complessità della architettura del database del catasto.

La presente tesi propone, limitatamente alle strade extraurbane, una procedura automatica di acquisizione dei dati georeferenziati da inserire in un database di supporto DBS che costituisce la base essenziale per la graduale formazione dei GDF (Geographic Data File) previsti dal regolamento attuativo.

La procedura per la generazione del DBS e di un grafo ad esso associato risulta piuttosto rapida ed economica in quanto sfrutta le informazioni e le immagini disponibili in rete per ricavare molti dei dati previsti dal DMLLP con una precisione che risulta sicuramente inferiore di quella prescritta nel DM n.495/92 ma sicuramente sufficiente per affrontare e risolvere i molteplici problemi di gestione del patrimonio stradale.

Malgrado le imprecisioni, il DBS generato dalla procedura è perfettamente congruente con quanto sancito all'art. 1 del DM n. 3484 del 2001 in cui si afferma che i GDF “individuano, sotto l'aspetto tecnico, l'obiettivo finale da raggiungere”.

Gli algoritmi successivamente descritti si limitano ad utilizzare le informazioni e le immagini presenti su server di Google (immagini satellitari (**IS**), immagini delle mappe stradali (**IM**), fotografie (**FS**) al livello del piano stradale).

CAPITOLO 1

Catasto delle strade

1.1 Archivio Nazionale delle Strade

L'art. 225 del **Nuovo Codice della Strada** (N.C.S), emanato con Decreto Legislativo n. 285 del 30 aprile 1992, recita:

“Ai fini della sicurezza stradale e per rendere possibile l'acquisizione dei dati inerenti allo stato delle strade, dei veicoli e degli utenti e dei relativi mutamenti, sono istituiti:

- a) presso il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti un archivio nazionale delle strade;*
- b) presso il Dipartimento per i trasporti terrestri un archivio nazionale dei veicoli;*
- c) presso il Dipartimento per i trasporti terrestri una anagrafe nazionale degli abilitati alla guida, che include anche incidenti e violazioni.”*

L'organizzazione degli archivi e dell'anagrafe nazionale, prevista dall'art. 226 del N.C.S, è ulteriormente chiarita dal D.P.R. n. 495 del 16 dicembre 1992, (aggiornato e modificato dal modificato dal D.P.R. n. 610/1996, D.L. n. 151/2003, dal D.L. n. 269/2003, dal D.P.R. n. 235/2004, dal D.P.R. n. 153/2006 e dal D.P.R. 37/2007). L'art. 401 del D.P.R. n. 495/92, infatti, specifica che:

1. *L'archivio nazionale delle strade, che deve contenere, ai sensi dell'articolo 226, commi da 1 a 4, tutti i dati relativi allo stato tecnico e giuridico delle strade con indicazioni del traffico veicolare e degli incidenti, è completamente informatizzato e distinto in cinque sezioni ad accesso diretto, fra loro interconnesse, capaci di fornire una visione selezionata o complessiva dei dati da cui risultano popolate.*
2. *La prima sezione contiene l'elenco delle strade distinte per categorie, come indicato dall'articolo 2 del codice; per ogni strada è indicato lo stato tecnico e giuridico della stessa, con i relativi dati concernenti la strada in sé, la sua percorribilità nei vari tratti, le caratteristiche tecniche geometriche e strutturali delle infrastrutture, le caratteristiche dei mezzi circolanti e le eventuali limitazioni di traffico anche temporanee, nonché tutte le occupazioni, le pertinenze, gli edifici, gli attraversamenti, giusta gli articoli da 20 a 33 del codice.*
3. *La seconda sezione contiene l'indicazione del traffico veicolare su ogni strada, sempre raggruppate secondo le categorie di cui all'articolo 2 del codice; per ogni strada è indicata l'entità del traffico veicolare, distinto per tratte, delle singole strade, per i vari periodi di tempo in cui si effettua e per le diverse categorie di veicoli.*
4. *La terza sezione contiene l'indicazione degli incidenti localizzati per ogni strada; al riguardo devono essere indicati il luogo esatto in cui l'incidente è avvenuto, il tipo di veicolo od i tipi di veicoli coinvolti nello stesso con tutti i dati idonei ad identificarli, l'entità e le modalità dell'incidente con le conseguenze dannose alle cose o alle persone; i dati anagrafici degli utenti coinvolti nell'incidente, con l'indicazione del tipo di patente di guida ed anno di rilascio per i guidatori dei veicoli coinvolti, e dei dati dell'avente diritto sul veicolo, se questi non era alla guida; le sanzioni amministrative, principali o accessorie, comminate a seguito dell'incidente stesso.*
5. *La quarta sezione contiene lo stato di percorribilità da parte dei veicoli classificati mezzi d'opera ai sensi dell'articolo 54, comma 1, lettera n) del codice; tale stato di percorribilità deve essere indicato per ogni strada. Fino a che non vengano attivati l'archivio nazionale delle strade e la sezione suddetta, gli elenchi previsti dall'articolo 226, comma 4, del codice sono formati e aggiornati, sulla base delle indicazioni fornite dagli enti indicati nel comma 4 citato, i quali sono tenuti annualmente, entro il 31 gennaio di ogni anno, con i dati relativi all'anno precedente, ad inviarli al Ministero dei lavori pubblici, che tempestivamente compila gli elenchi.*

6. *La quinta sezione contiene i dati inviati mensilmente dagli enti proprietari relativi alle indicazioni fornite dai dispositivi di monitoraggio di cui all'articolo 404, comma 3.*
7. *Le sezioni suddette verranno popolate automaticamente e continuamente aggiornate attraverso i dati forniti dagli enti proprietari delle strade obbligati a farlo ai sensi dell'articolo 226, comma 3, del codice nonché attraverso le comunicazioni telematiche fornite dall'Archivio nazionale dei veicoli e dall'anagrafe nazionale degli abilitati alla guida, circa i dati di loro competenza.*
8. *I dati per la formazione ed il periodico aggiornamento delle sezioni verranno forniti, sulla base delle direttive elaborate dal Ministero dei lavori pubblici, dall'ANAS e dalle società concessionarie rispettivamente per le strade statali e per le autostrade in concessione e dagli altri enti proprietari coordinati dalle regioni per la rimanente viabilità. Le direttive devono essere conformi alle direttive ed ai regolamenti comunitari ed internazionali.*
9. *Le modalità di consultazione dell'Archivio sono determinate nell'ambito del procedimento di attuazione della legge 7 agosto 1990, n. 241*
10. *Alla tenuta dell'archivio nazionale delle strade provvede l'Ispettorato generale per la circolazione e la sicurezza stradale del Ministero dei lavori pubblici. Alle relative maggiori spese verrà fatto fronte con i proventi di cui all'articolo 228, comma 6, lettera c) del codice.*
11. *Sulla base dei dati dell'archivio nazionale delle strade, il Ministro dei lavori pubblici dispone ogni tre anni il censimento del traffico, da pubblicarsi nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica.*

In sintesi, l'Archivio Nazionale delle Strade (ANS), previsto dall'art.226 del N.C.S. é suddiviso nelle seguenti sezioni:

1. Caratteristiche tecnico-giuridiche delle strade;
2. Traffico veicolare;
3. Incidenti;
4. Percorribilità dei mezzi d'opera;
5. Inquinamento.

1.2 Catasto stradale

La prima sezione dell'Archivio Nazionale delle Strade (ANS) costituisce il “**catasto stradale**” che, per tutte le strade ad uso pubblico presenti sul territorio nazionale, deve contenere le informazioni previste dal Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici “Modalità di istituzione ed aggiornamento del Catasto delle strade ai sensi dell'art. 13, comma 6, del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285, e successive modificazioni” riportato nel supplemento ordinario n. 6 della Gazzetta Ufficiale N. 5 del 07 Gennaio 2002.

Il comma 6 dell'Art.13 del N.C.S., analogamente al punto 8 del art. 495 del D.M., stabilisce, inoltre, che “*Gli enti proprietari delle strade sono obbligati ad istituire e tenere aggiornati la cartografia, il catasto delle strade e le loro pertinenze secondo le modalità stabilite con apposito decreto che il Ministro dei lavori pubblici emana sentiti il Consiglio superiore dei lavori pubblici e il Consiglio nazionale delle ricerche. Nel catasto dovranno essere compresi anche gli impianti e i servizi permanenti connessi alle esigenze della circolazione stradale*”.

Secondo l'N.C.S., gli enti proprietari di strade ad uso pubblico (cfr. art.1) sono:

- ✓ ANAS per le autostrade e le strade di interesse nazionale;
- ✓ Società Concessionarie per le autostrade di interesse nazionale;
- ✓ Regioni per le strade regionali (SR);
- ✓ Province per le strade provinciali (SP);
- ✓ Comuni per le strade comunali (SC).

1.3 Classificazione delle strade

Il N.C.S. definisce “**strada**” come “[...] l'area ad uso pubblico destinata alla circolazione dei pedoni, dei veicoli e degli animali” (N.C.S., art.2, comma 1) e ne propone una classificazione costruttivo-tecnico-funzionale e una classificazione amministrativa.

La classificazione delle strade richiede una preliminare distinzione tra strade urbane ed extraurbane sulla base della definizione di centro abitato e della sua delimitazione.

Il **centro abitato** è definito dal comma 8 dell'art.3 del N.C.S. come un "insieme di edifici, delimitato lungo le vie di accesso dagli appositi segnali di inizio e fine. Per insieme di edifici si intende un raggruppamento continuo, ancorché intervallato da strade, piazze, giardini o simili, costituito da non meno di venticinque fabbricati e da aree di uso pubblico con accessi veicolari o pedonali sulla strada".

La **delimitazione del centro abitato** (cfr. N.C.S., art.5, commi 3-6) individua i limiti territoriali di applicazione delle diverse discipline previste dal N.C.S. all'interno e all'esterno del centro abitato. Sulla strada, i punti di inizio e fine del centro abitato sono indicati da appositi segnali. Essi corrispondono ai punti di delimitazione del centro abitato deliberati dalla Giunta Municipale del Comune interessato e sono indicati sulla cartografia allegata alla delibera. Dove la densità dell'urbanizzato è elevata, un centro abitato può comprendere il territorio di più comuni adiacenti. La delimitazione del centro abitato è aggiornata periodicamente in funzione delle variazioni che esso subisce nel tempo.

1.3.1 Classifica tecnico-funzionale

La **classifica tecnico-funzionale** delle strade è riportata nell'art.2 del N.C.S. che prevede 6 tipologie di strade, identificate da una lettera latina maiuscola:

A - Autostrada: " [...] strada extraurbana o urbana a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile, ciascuna con almeno due corsie di marcia, eventuale banchina pavimentata a sinistra e corsia di emergenza o banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso e di accessi privati, dotata di recinzione e di sistemi di assistenza all'utente lungo l'intero tracciato, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore e

contraddistinta da appositi segnali di inizio e fine; deve essere attrezzata con apposite aree di servizio ed aree di parcheggio, entrambe con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione” (N.C.S., art.2, comma 3, lettera A). Può avere una **strada di servizio** (cfr. N.C.S., art.2 comma 4) per il raggruppamento degli accessi laterali alla strada principale e il movimento e le manovre dei veicoli non ammessi sulla strada principale stessa.

B – Strada extraurbana principale: “[...] strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico invalicabile ciascuna con almeno due corsie di marcia e banchina pavimentata a destra, priva di intersezioni a raso, con accessi alle proprietà laterali coordinati contraddistinta dagli appositi segnali di inizio e fine, riservata alla circolazione di talune categorie di veicoli a motore; per eventuali altre categorie di utenti devono essere previsti opportuni spazi. Deve essere attrezzata con apposite aree di servizio, che comprendano spazi per la sosta, con accessi dotati di corsie di decelerazione e di accelerazione” (N.C.S., art.2, comma 3, lettera B). Può avere una strada di servizio per la sosta e il raggruppamento degli accessi dalle proprietà laterali alla strada principale e viceversa, nonché il movimento e le manovre dei veicoli non ammessi sulla strada principale. Come si evince dal testo di legge, la principale caratteristica che distingue un’autostrada da una strada extraurbana principale è il divieto, per la prima e non per la seconda, di avere accessi privati. Inoltre, una strada di tipo B è sempre extraurbana, mentre un’autostrada può anche essere urbana.

C – Strada extraurbana secondaria: “[...] strada ad unica carreggiata con almeno una corsia per senso di marcia e banchine” (N.C.S., art.2, comma 3, lettera C). Una strada extraurbana secondaria si distingue da una strada extraurbana principale essenzialmente per il fatto di essere costituita da un’unica carreggiata, a differenza dell’extraurbana principale che, invece, ne ha due.

D – Strada urbana di scorrimento: "[...] strada a carreggiate indipendenti o separate da spartitraffico, ciascuna con almeno due corsie di marcia, ed una eventuale corsia riservata ai mezzi pubblici, banchina pavimentata a destra e marciapiedi, con le eventuali intersezioni a raso semaforizzate; per la sosta sono previste apposite aree o fasce laterali estranee alla carreggiata, entrambe con immissioni ed uscite concentrate" (N.C.S., art.2, comma 3, lettera D). Può avere una strada di servizio per la sosta e il raggruppamento degli accessi dalle proprietà laterali alla strada principale e viceversa, nonché il movimento e le manovre dei veicoli non ammessi sulla strada principale. Una strada urbana di scorrimento è l'equivalente in ambito urbano della strada extraurbana principale, anche se l'urbana di scorrimento prevede, oltre agli accessi privati, anche la presenza di intersezioni a raso semaforizzate.

E – Strada urbana di quartiere: "[...] strada ad unica carreggiata con almeno due corsie, banchine pavimentate e marciapiedi; per la sosta sono previste aree attrezzate con apposita corsia di manovra, esterna alla carreggiata" (N.C.S., art.2, comma 3, lettera E). Una strada urbana di quartiere è l'equivalente in ambito urbano della strada extraurbana secondaria.

F – Strada locale: "[...] strada urbana od extraurbana [...] non facente parte degli altri tipi di strade (N.C.S., art.2, comma 3, lettera F), [...] ad uso pubblico destinata alla circolazione dei pedoni, dei veicoli e degli animali (N.C.S., art.2, comma 1)".

1.3.2 Classifica amministrativa

La **classifica amministrativa** delle strade è riportata nei commi 5-9 dell'art.2 del N.C.S. e prevede le seguenti tipologie di strade:

- ✓ **Statali** (Ente proprietario e competente: Stato) – Strade extraurbane B, C o F 4 e strade urbane D e F all'interno di

centri abitati con popolazione ≤ 10000 abitanti, che abbiano le seguenti caratteristiche (N.C.S., art.2, comma 6, lettera A): “[...]”

- a) costituiscono le grandi direttrici del traffico nazionale;
- b) congiungono la rete viabile principale dello Stato con quelle degli Stati limitrofi;
- c) congiungono tra loro i capoluoghi di regione, ovvero i capoluoghi di provincia situati in regioni diverse. ovvero costituiscono diretti e importanti collegamenti tra strade statali;
- d) allacciano alla rete delle strade statali i porti marittimi, gli aeroporti, i centri di particolare importanza industriale, turistica e climatica”

All'interno di un centro abitato, le strade statali urbane (D, F) sono considerate:

- effettivamente statali (**tratti interni di strade statali**) per centri abitati con popolazione ≤ 10000 abitanti;
 - **strade comunali** per centri abitati con popolazione > 10000 abitanti.
- ✓ **Regionali** (Ente proprietario e competente: Regione) - Strade extraurbane B, C o F e strade urbane D e F all'interno di centri abitati con popolazione ≤ 10000 abitanti, che siano (N.C.S., art.2, comma 6, lettera B):
- collegamento tra un capoluogo di provincia e il capoluogo di regione;
 - collegamento tra capoluoghi di provincia;
 - collegamento tra capoluoghi di provincia o comuni e la rete delle strade statali se tali collegamenti sono particolarmente rilevanti per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico.

All'interno di un centro abitato, le strade regionali urbane (D, F) sono considerate:

- effettivamente regionali (**tratti interni di strade regionali**) per centri abitati con popolazione ≤ 10000 abitanti;
 - **strade comunali** per centri abitati con popolazione > 10000 abitanti.
- ✓ **Provinciali** (Ente proprietario e competente: Provincia) - Strade extraurbane B, C o F e strade urbane D e F all'interno di centri abitati con popolazione ≤ 10000 abitanti, che siano (N.C.S., art.2, comma 6, lettera C):
- collegamento tra i capoluoghi di comune di una provincia e il corrispondente capoluogo di provincia;
 - collegamento tra i capoluoghi di comune di una provincia;
 - collegamento tra i capoluoghi di comune di una provincia e la rete delle strade statali o regionali se tali collegamenti sono particolarmente rilevanti per ragioni di carattere industriale, commerciale, agricolo, turistico e climatico

All'interno di un centro abitato, le strade provinciali urbane (D, F) sono considerate:

- effettivamente provinciali (**tratti interni di strade provinciali**) per centri abitati con popolazione ≤ 10000 abitanti;
 - **strade comunali** per centri abitati con popolazione > 10000 abitanti.
- ✓ **Comunali** (Ente proprietario e competente: Comune) - Strade extraurbane B, C o F e strade urbane D, E e F, che siano (N.C.S., art.2, comma 6, lettera D):
- collegamento tra le frazioni di un comune e il corrispondente capoluogo di comune;
 - collegamento tra le frazioni di un comune;

- collegamento tra il capoluogo di un comune e una località di interesse per la collettività comunale, quali stazioni ferroviarie, stazioni tranviarie, stazioni automobilistiche, aeroporti, porti (marittimi, lacuali o fluviali), interporti, nodi di scambio intermodale;
- **strade vicinali** (strade private fuori dai centri abitati ad uso pubblico, cfr. N.C.S., art.3, comma 52).

Sono inoltre considerate strade comunali (e il Comune ha competenza e responsabilità sulla strada, cfr. N.C.S., art.5, comma 3):

- le strade statali urbane (D, F) all'interno di centri abitati con popolazione > 10000 abitanti;
 - le strade regionali (D, F) all'interno di centri abitati con popolazione > 10000 abitanti;
 - le strade provinciali (D, F) all'interno di centri abitati con popolazione > 10000 abitanti.
- ✓ **Militari** (Ente proprietario e competente: Comando della regione militare territoriale) – Strade destinate esclusivamente al traffico militare (N.C.S., art.2, comma 5).

1.4 Architettura del Catasto delle Strade

Il Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 07 Gennaio 2002 chiarisce che: *“Il Catasto delle Strade è organizzato secondo un'architettura hardware di tipo client/server con possibilità di collegamento in rete ai fini della consultazione da parte di terzi. Per quanto riguarda l'architettura software essa e' basata su una banca dati di tipo relazionale, strutturata secondo le specifiche contenute nell'Allegato al presente decreto, e su di un sistema GIS (Geographic Information System) che consenta di rappresentare la cartografia del territorio ed il grafo della rete stradale, di selezionare i singoli elementi stradali e di*

visualizzare gli attributi contenuti nella banca dati.” (Art.3 del Decr.1/6/01).

Lo stesso decreto prevede anche che il Catasto delle Strade italiano utilizzi lo standard europeo G.D.F (Geographic Data File, sezione Roads and Railways) con particolare riferimento alla norma CEN TC 278, versione 3.0 del 12/10/1995.

Nel G.D.F. sono contenute informazioni relative a **entità** (features), le cui proprietà sono descritte dagli **attributi** (attributes) e **relazioni** (relationships) ovvero proprietà comuni più entità differenti. Gli attributi possono essere **globali**, cioè costanti lungo tutta l'entità a cui si riferiscono, o **segmentati**, ossia variabili lungo una data entità.

Ogni entità ha una rappresentazione su tre diversi livelli (levels):

- Il primo livello (livello 0) é un livello di tipo cartografico. In esso le diverse entità sono rappresentate dalle primitive geografiche: Nodo (Node), Arco (edge) e Superficie (Face), riconducibili ad una “geometria”, costituita da uno o più punti rappresentati da una terna di coordinate.
- Nel secondo Livello (livello 1) viene descritta la mappa in termini di entità elementari, quali l'elemento stradale (Road Element), la giunzione (Junction), l'area di traffico (Enclosed Traffic Area). Questo secondo livello viene assunto come base di riferimento del Catasto delle Strade.
- Il terzo livello (livello 2) è un'aggregazione (o composizione) di entità elementari, e definisce le entità di tipo più complesso quali la strada (Road) e l'intersezione (Intersection). Questo terzo livello si presta a rappresentare alcuni elementi propri del S.I.S. e dell'Archivio Nazionale Strade.

Nella Fig. 1 si rappresentano i collegamenti tra le entità elementari presenti nei livelli 1 e 2.

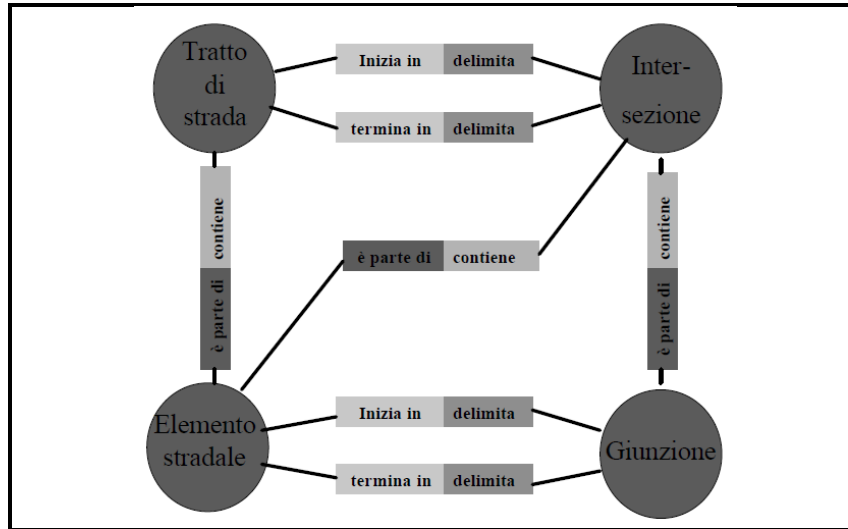


Fig.1 :- Schema dei collegamenti tra le entità dei diversi livelli.

1.4.1 Precisazioni sui livelli

Al livello 1, la descrizione delle strade per il Catasto Strade, come accennato, si fonda sulle giunzioni (junction) che sono elementi puntuali, sugli elementi stradali (road elements) che sono elementi lineari e sulle aree di traffico che sono superfici. Le entità del livello 2 sono, invece, la strada (road) compresa tra due intersezioni (intersection) e che può comprendere più elementi stradali e più giunzioni.

L'Appendice 2-2A del decreto attuativo, per superare le difficoltà connesse al passaggio da una configurazione di livello 1 ad una di livello 2, riporta le "Regole per la formazione del livello 2 di Strade e Intersezioni". In tale Appendice si precisa che *"la regola per la formazione delle configurazioni del livello 2 di Strade e Intersezioni è basata sulla funzione che la formazione deve compiere"* ammettendo, al tempo stesso, che tali regole *"non possono essere più che generiche"*. Nella stessa appendice si afferma inoltre che: *"Per quanto esse possano essere specificate le regole sono ancora da scoprire."*

Alcuni esempi dei due livelli di rappresentazione sono riportati nelle Figg. 2-5 riprese dalla suddetta Appendice.

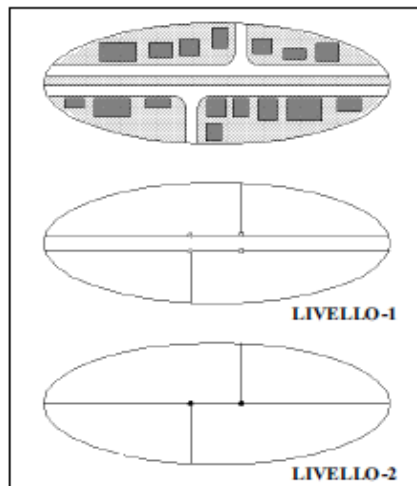


Fig.2a: Rappresentazione di una intersezione di strada a carreggiata doppia

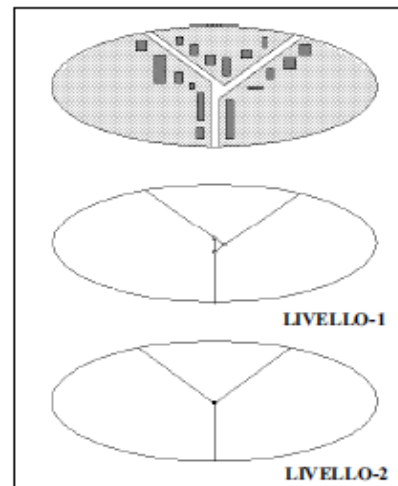


Fig.2b: Intersezione a raso a 3 braccia o 3 giunzioni e una intersezione

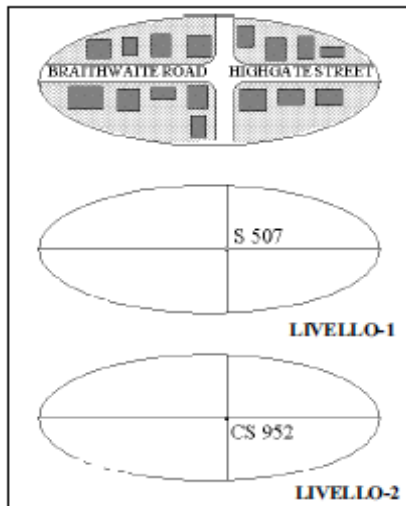


Fig.3a: Intersezione contenente una Giunzione

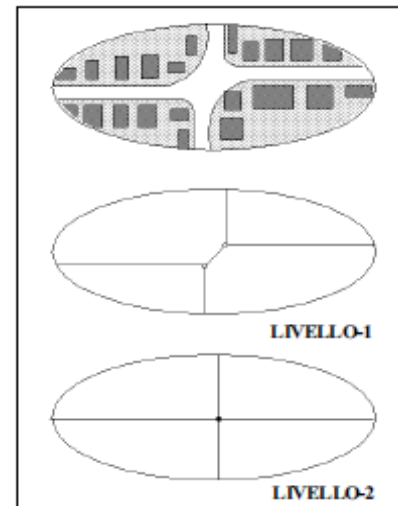


Fig.3b: Intersezione contenente 2 Giunzioni

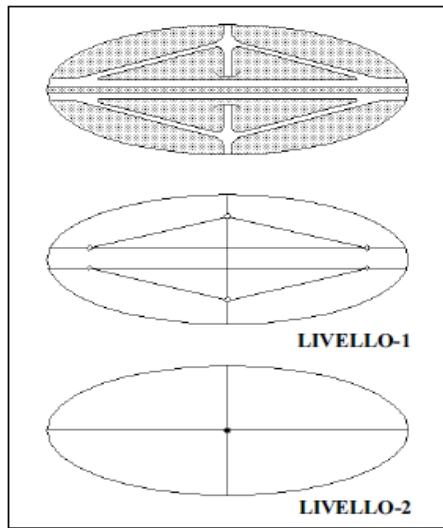


Fig.4a:-Esempio delle formazione
del livello 2 di un'uscita
stradale

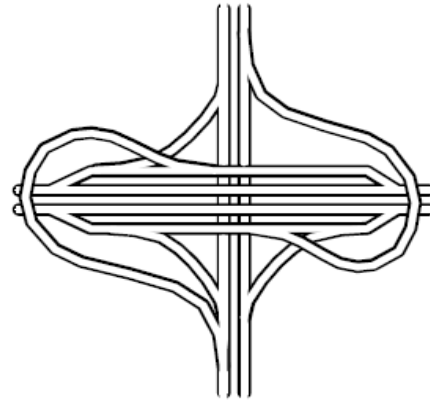


Fig.4b:-Rappresentazione di uno
scambio stradale

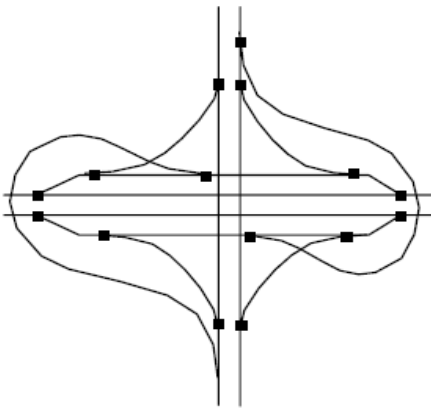


Fig.5a:-Rappresentazione
Livello 1 della Fig.4b

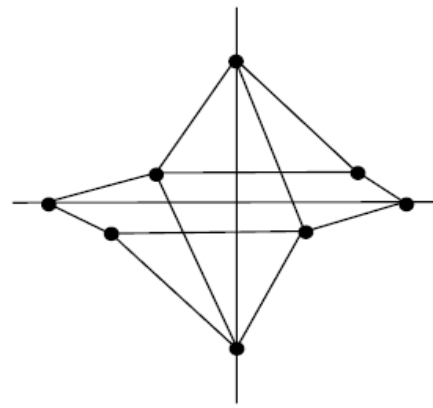
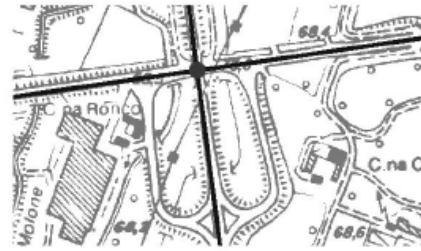


Fig.5b:-Rappresentazione del Livello
2 della Fig.4b

Ulteriori rappresentazioni degli schemi di intersezioni da considerare per la formazione del GDF sono riportati in Fig. 6.

GDF: Livello 1**GDF: Livello 2****GDF: Livello 1****GDF: Livello 2****GDF: Livello 1****GDF: Livello 2****Fig.6** – Schemi di intersezioni da utilizzare per la compilazione de GDF.

Al livello 1, una rotatoria è rappresentata da 4 elementi stradali che convergono nella rotatoria:

- elemento stradale **1**: tratto della strada 31 a Ovest;
- elemento stradale **3**: tratto della strada 31 a;
- elemento stradale **2**: tratto della strada 42 a Nord;

- elemento stradale 4: tratto della strada 42 a.

All'interno della rotatoria (v. Fig. 7) si hanno, inoltre, 4 elementi stradali (5,6,7,8) e 4 giunzioni (100,101,102,103) che individuano i punti in cui gli elementi stradali 1, 2, 3 e 4 convergono o divergono dalla rotatoria.

Al livello 2 la schematizzazione della rotatoria può risultare molto più semplice in quanto è rappresentata da una sola intersezione e da 4 strade che vi convergono (**31,32,41,42**).

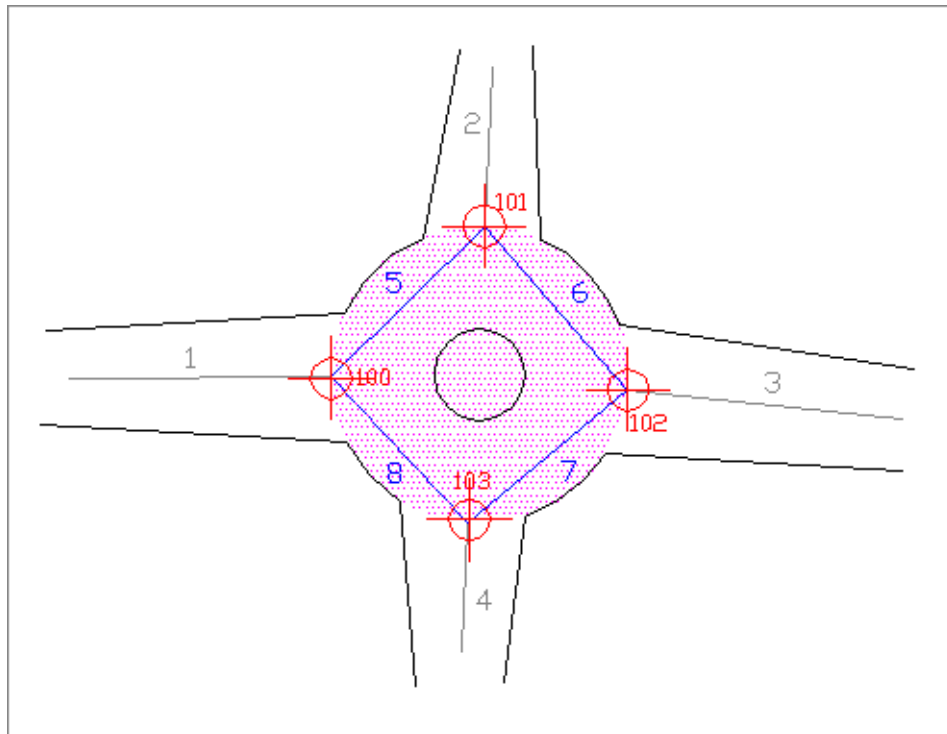


Fig.7 – Differenza di dettaglio tra livello 1 e livello 2

1.5 Entità ed attributi

Il livello 1, come già detto, viene assunto come base di riferimento per gli elementi del Catasto che sono: la giunzione, area di traffico e elemento stradale.

1.5.1 Giunzione

La giunzione (GDF: junction) è l'estremo di un elemento stradale, il punto di intersezione fra più elementi stradali o l'interconnessione tra un elemento stradale e un'area di traffico o tra il sistema viario e un altro sistema di trasporto.

Una giunzione è un'entità puntuale (nodo), rappresentata in termini geometrici da una terna di coordinate. L'entità giunzione prevede solo attributi globali che sono:

Giunzione - Attributi globali

Nome	Codice CEN	Tipo dati
Denominazione Ufficiale	ON	Testo
Denominazione Convenzionale	AN	Testo
Tipo di giunzione 0 = ordinaria 1 = mini-rotatoria 2 = biforcazione 3 = attraversamento ferroviario a raso 4 = attraversamento di confine	JT	Int

Per **giunzione ordinaria** si intende un'intersezione generica tra elementi stradali, ad esempio un incrocio a raso generico, a prescindere se sia semaforizzato o meno, dotato di rotatorie, aiuole, spartitraffico o meno.

Con il termine **mini-rotatoria** ci si riferisce ad una rotatoria di piccole dimensioni (raggio < 10m) progettata principalmente per ridurre la velocità dei veicoli; essa richiede una modesta deviazione della traiettoria dei veicoli, senza che questi operino svolte in altre strade.

Si ha una **biforcazione** quando una medesima strada si suddivide in due differenti tronchi stradali, mantenendo in

entrambi i tronchi la stessa denominazione. In molti casi, però, la biforcazione non viene considerata e si preferisce usare al suo posto una giunzione ordinaria, in quanto, quando una strada si divide in due tronchi distinti, in prossimità del punto di divisione si ha l'intersezione di tre elementi stradali, quello del tratto unico e i due dei tronchi separati.

1.5.2 Area di traffico

L'entità **area di traffico** o **area di traffico delimitata** (GDF: enclosed traffic area) rappresenta un'area dove avvengono movimenti di veicoli senza che i flussi di traffico siano definiti. Sebbene sia un'entità prevista dal Decr.1/6/01, molto spesso l'area di traffico non viene utilizzata nella creazione dei catasti delle strade, poiché si preferisce comunque rappresentare il traffico che avviene all'interno di queste aree mediante elementi stradali e giunzioni, che sono più facilmente modellabili e gestibili all'interno dei grafi stradali associati al catasto. L'entità area di traffico prevede solo attributi globali che sono;

Area di traffico - Attributi globali

Nome	Codice CEN	Tipo dati
Denominazione Ufficiale	ON	Testo
Denominazione Convenzionale	AN	Testo
Tipo di area di traffico 1 = parcheggio 2 = parcheggio multipiano 3 = piazza con flussi di traffico non definiti 4 = altro tipo di area	EA	Int

1.5.3 Elemento stradale

Un **elemento stradale** (GDF: **road element**) è un'entità lineare compresa da due giunzioni rappresenta, in genere, l'asse di un tratto di strada a singola carreggiata. Un elemento stradale presenta sia attributi globali, costanti lungo tutto

l'elemento stradale, sia attributi segmentati, relativi a caratteristiche che possono variare lungo l'elemento stesso.

Elemento stradale - Attributi globali

Nome	Codice CEN	Tipo dati
Denominazione Ufficiale	ON	testo
Denominazione Convenzionale	AN	testo
Ente proprietario 1 = Stato 2 = Regione 3 = Provincia 4 = Comune 5 = Privato		int
Codice Ente gestore Il codice dell'ente viene assegnato in modo univoco dal gestore dell'Archivio Nazionale delle Strade		long int
Classifica Amministrativa SS = Strade Statali SR = Strade Regionali SP = Strade Provinciali SC = Strade Comunali SM = Strade Militari PR = Strade private		char(2)
Classifica Tecnico-Funzionale A = Autostrade B = Strade extraurbane principali C = Strade extraurbane secondarie D = Strade urbane di scorrimento E = Strade urbane di quartiere F = Strade locali	FC	char(1)
Lunghezza misurata (m)	LM	long int
Composizione elemento stradale 0 = carreggiata unica 1 = carreggiate separate	DR	boolean
Direzione di marcia consentita 1 = doppio senso di marcia 2 = senso unico dalla giunzione iniziale a quella finale 3 = senso unico dalla giunzione finale a quella iniziale 4 = divieto di transito nei due sensi	DF	int

Gli attributi segmentati relativi all'elemento stradale previsti dalla norma sono:

0 Sezione dell'elemento stradale

1 Pavimentazione della strada

2 Corpo stradale

3 Ponti, viadotti e sottopassi

4 Gallerie e sovrappassi

5 Cunette di margine

6 Arginelli

7 Protezione del corpo stradale

8 Protezione dell'ambiente circostante

9 Impianti di illuminazione

10 Piazzole di sosta

11 Dispositivi di ritenuta

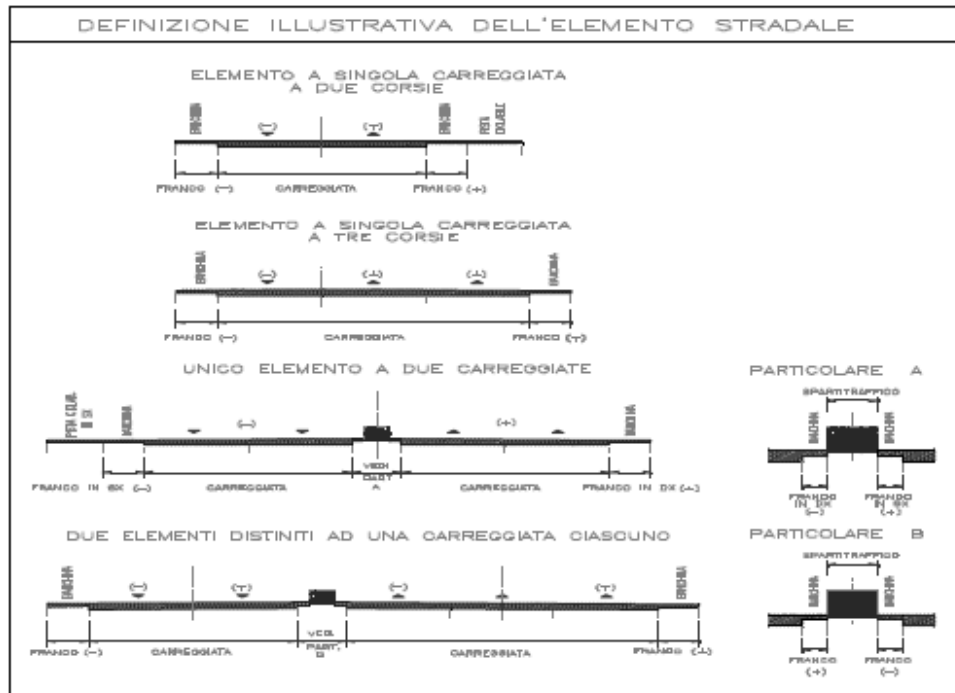
12 Pertinenze di servizio

13 Opere di continuità idraulica

14 Accessi

15 Cippi o segnali chilometrici

Con riferimento alla Fig. 8, i dati atti a definire compiutamente le caratteristiche di ciascuno dei suddetti attributi sono riportati nelle seguenti tabelle.



Sezione dell'elemento stradale (codice 0)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
101	Larghezza della carreggiata (cm)		int
102	Franco 0 = non presente 1 = banchina 2 = corsia di emergenza 3 = fascia di sosta laterale o fermata 4 = banchina + fascia di sosta laterale o fermata		int
103	Larghezza del franco (cm)		int
104	Larghezza marciapiedi (cm)		int
105	Franco in dx 0 = non presente 1 = banchina 2 = corsia di emergenza 3 = fascia di sosta laterale o fermata 4 = banchina + fascia di sosta laterale o fermata		int
106	Larghezza del franco in dx (cm)		int
107	Larghezza marciapiedi in dx (cm) int		

108	Franco in sx 0 = non presente 1 = banchina 2 = corsia di emergenza 3 = fascia di sosta laterale 4 = banchina + fascia di sosta laterale		int
109	Larghezza del franco in sx (cm)		int
110	Larghezza marciapiedi in sx (cm)		int
111	Tipo spartitraffico 1 = separazione fisica non valicabile 2 = separazione fisica valicabile 3 = separazione con segnaletica	DT	int
112	Larghezza spartitraffico (cm)	DW	int
113	Larghezza pista ciclabile		int
114	Numero corsie		int

Pavimentazione della strada (codice 1)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
151	Tipologia della superficie della carreggiata 1 = materiale sciolto 2 = materiale legato 3 = ad elementi		int
151	Tipologia della superficie della carreggiata 1 = materiale sciolto 2 = materiale legato 3 = ad elementi		int
153	Tipologia della superficie delle banchine pavimentate 1 = materiale sciolto 2 = materiale legato 3 = ad elementi		int

Corpo stradale (codice 2)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
201	Tipologia del corpo stradale 0 = a raso 1 = tratto in rilevato 2 = tratto in trincea 3 = tratto a mezza costa		int
201	Tipologia del corpo stradale 0 = a raso 1 = tratto in rilevato 2 = tratto in trincea 3 = tratto a mezza costa		int
203	Pendenza scarpata (H/B)		float
204	Altezza massima scarpata (cm)		int
205	Tipologia opera di sostegno 1 = muro di sostegno 2 = muro di controripa 3 = muro di sottoscarpa 4 = altro		int
206	Altezza massima opera di sostegno (cm)		int
207	Delimitazione in dx 1 = scarpata 2 = opera di sostegno 3 = scarpata + opera di sostegno		int
208	Pendenza scarpata in dx (H/B)		float
209	Altezza massima scarpata in dx (cm)		int
210	Tipologia opera di sostegno in dx 1 = muro di sostegno 2 = muro di controripa 3 = muro di sottoscarpa 4 = altro		int
211	Altezza max opera di sostegno in dx (cm)		int
212	Delimitazione in sx 1 = scarpata 2 = opera di sostegno 3 = scarpata + opera di sostegno		int
213	Pendenza scarpata in sx (H/B)		float
214	Altezza massima scarpata in sx (cm)		int
215	Tipologia opera di sostegno in sx 1 = muro di sostegno 2 = muro di controripa 3 = muro di sottoscarpa		int

	4 = altro		
216	Altezza massima opera di sostegno in sx (cm)		int

Ponti, viadotti e sottopassi (codice 3)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
251	Denominazione Ufficiale	ON	testo
252	Denominazione Convenzionale	AN	testo
253	Categoria 0 = non determinata 1 = I categoria 2 = II categoria		int

Gallerie e sovrappassi (codice 4)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
301	Denominazione Ufficiale	ON	testo
302	Denominazione Convenzionale	AN	testo
303	Altezza libera al centro della piattaforma (cm)		int
304	Altezza libera sul ciglio della piattaforma (cm)		int
305	Impianto di ventilazione 0 = non presente 1 = presente		int

Cunette di margine (codice 5)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
351	Tipo di sagoma 1 = trapezia 2 = a L (francese) 3 = altro		int
352	Larghezza max cunetta (cm)		int
353	Profondità max cunetta (cm)		int
354	Tipo di sagoma in dx 1 = trapezia 2 = a L (francese) 3 = altro		int
355	Larghezza max cunetta in dx (cm)		int
356	Profondità max cunetta in dx (cm)		int

357	Tipo di sagoma in sx 1 = trapezia 2 = a L (francese) 3 = altro		int
358	Larghezza max cunetta in sx (cm)		int
359	Profondità max cunetta in sx (cm)		int

Arginelli (codice 6)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
401	Larghezza arginello (cm)		int
402	Larghezza arginello in dx (cm)		int
403	Larghezza arginello in sx (cm)		int

Protezione del corpo stradale (codice 7)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
451	Tipologia dell'opera 1 = muri paramassi e antivalanghe 2 = recinzioni 3 = barriere frangivento 4 = cunettone di guardia 5 = altro		int

Protezione dell'ambiente circostante (codice 8)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
501	Tipologia dell'opera 1 = opere di mitigazione degli impatti visivi 2 = barriere antirumore 3 = altro		int

Impianti di illuminazione (codice 9)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
551	Tipo di disposizione delle lampade 1 = disposizione laterale 2 = disposizione assiale 3 = altro		int

Piazzole di sosta (codice 10)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
601	Larghezza della parte non raccordata (cm)		int

Dispositivi di ritenuta (codice 11)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
651	Distanza minima dal margine della carreggiata (cm)		int
652	Tipologia 1 = barriera spartitraffico 2 = barriera per bordo laterale 3 = barriera per opere d'arte 4 = barriera per punti singolari		int
653	Distanza minima dal margine della carreggiata in dx (cm)		int
654	Tipologia in dx 1 = barriera spartitraffico 2 = barriera per bordo laterale 3 = barriera per opere d'arte 4 = barriera per punti singolari		int
655	Distanza minima dal margine della carreggiata in sx (cm)		int
656	Tipologia in sx 1 = barriera spartitraffico 2 = barriera per bordo laterale 3 = barriera per opere d'arte 4 = barriera per punti singolari		int

Pertinenze di servizio (codice 12)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
701	Denominazione Ufficiale ON		testo
702	Denominazione Convenzionale AN		testo
703	Tipologia del servizio offerto 1 = area di servizio destinata al rifornimento e al ristoro degli utenti 2 = area di servizio destinata a parcheggio e sosta 3 = area di manutenzione e/o esercizio 4 = fabbricato di manutenzione e/o esercizio 5 = aree o postazioni destinate a funzioni di rilievo, controllo e di polizia		int
704	Presenza di corsie di accelerazione-decelerazione 1 = sì. 2 = no		boolean
705	Superficie totale occupata in pianta (mq)		long int

Opere di continuità idraulica (codice 13)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
751	Tipologia dell'opera 1 = tombino 2 = tombino con scivolo 3 = altro		int

Accessi (codice 14)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
801	Inclinazione rispetto all'asse stradale (gradi)		int
802	Tipologia dell'accesso 1 = immissione di una strada privata a raso 2 = immissione di una strada privata a livelli sfalsati 3 = altro		int
803	Destinazione dell'area cui si consente l'accesso 1 = fabbricati per abitazione 2 = attività industriali 3 = fondi agricoli 4 = altro		int

Cippi o segnali chilometrici (codice 15)

Codice	Nome	Codice CEN	Tipo dati
851	Indicazione chilometrica		float

1.5.4 Localizzazione degli attributi segmentati

Per ciascuno dei suddetti attributi segmentati relativi ad uno stesso elemento stradale nel GDF devono essere obbligatoriamente inseriti i seguenti dati:

- ✓ **codice del tipo di attributo**: codice numerico associato ad ogni tipo di attributo segmentato;
- ✓ **ascissa curvilinea in metri del punto di inizio** di presenza dell'attributo;
- ✓ **ascissa curvilinea in metri del punto di fine** di presenza dell'attributo (nel caso di attributi puntuali l'ascissa curvilinea di fine coincide con quella iniziale);
- ✓ **tipo di riferimento delle coordinate**: per il catasto è previsto unicamente l'utilizzo del tipo di riferimento relativo (codice 1) per cui l'origine delle coordinate coincide con il punto di inizio dell'elemento stradale;
- ✓ **collocazione**, necessaria per specificare se l'attributo si trova a destra dell'elemento stradale (simbolo +), a sinistra dell'elemento stradale (simbolo -), o su entrambi i lati dell'elemento stradale (sigla **NULL**), rispetto ad un osservatore che percorra l'asse dell'elemento stradale nel senso crescente delle ascisse curvilinee.

Qualsiasi variazione di un qualsiasi attributo segmentato che eccede i limiti di tolleranza previsti per tale attributo comporta l'individuazione dell'ascissa curvilinea del punto di inizio e fine dell'elemento stradale in cui l'attributo si può ritenere costante. L'ascissa curvilinea è la misura effettiva della distanza misurata a partire da un dato punto di riferimento, lungo l'asse della strada e secondo il profilo plano-altimetrico della strada

stessa. Nell'ipotesi l'asse stradale sia una curva, continua e regolare nello spazio, rappresentabile con la seguente forma parametrica:

$$K(\theta): \begin{cases} x = \alpha(\theta) \\ y = \beta(\theta) \\ z = \gamma(\theta) \end{cases}$$

Per il calcolo della lunghezza $L(\theta)$ dell'arco è necessario che $K(\theta)$ sia differenziabile rispetto al parametro θ . In tal caso si ha:

$$L(K) = \int_o^f |K'(\delta)| d\delta = \int_o^f \sqrt{(\alpha'(\delta))^2 + (\beta'(\delta))^2 + (\gamma'(\delta))^2} d\delta$$

essendo o il punto a partire dal quale si vuole conoscere la distanza.

Il calcolo analitico della ascissa curvilinea presenta, tenuto conto delle modalità e della precisione con cui si deve ricavare l'andamento piano altimetro dell'asse, delle indubbie difficoltà. Alcuni Enti dispongono già di un inventario informatizzato delle strade di propria pertinenza in cui i dati sono riferiti (in termini assoluti o relativi) ai cippi chilometrici (ettometrici) esistenti anche se collocati in una posizione non esatta. In ogni caso, tali riferimenti dovrebbero essere aggiornati per tener conto delle disposizioni del decreto.

1.5.5 L'asse stradale

Gli assi stradali vanno rilevati come sequenza di punti. Per ogni elemento stradale (rettifilo, curva, raccordi, ...) devono essere rilevati punti in numero sufficiente da poterne ricavare la geometria con un procedimento di minimi quadrati. I punti devono essere individuati dalle coordinate geografiche ellissoidiche WGS84 che si ottengono direttamente con metodo satellitare GPS o misto GPS+GLONASS, vincolato alla rete IGM95. In alternativa, è consentito utilizzare:

- le coordinate piane Gauss Boaga, ottenute proiettando secondo le equazioni della carta di Gauss, quelle geografiche ellissoidiche ROMA40 sull'ellissoide

Internazionale (Hayford) con orientamento Roma M. Mario;

- le coordinate piane UTM, ottenute proiettando, secondo le equazioni della carta di Gauss, quelle geografiche ED1950 sull'ellissoide Internazionale (Hayford) con orientamento medio europeo.

Quest'ultime coordinate si possono ottenere con metodi di triangolazione, trilaterazione, poligonazione, a partire da vertici ROMA40, oppure mediante trasformazione da coordinate WGS84. Le formule ed i parametri usati per le trasformazioni devono essere dettagliatamente specificati. Di norma i parametri devono essere quelli inseriti nelle monografie dei vertici della rete IGM95 più prossimi alla zona del rilievo.

Gli errori nelle coordinate piane dei punti dell'asse stradale devono essere contenuti entro un metro.

1.5.6 Profilo longitudinale

Il profilo della strada può essere costruito in base alla successione di punti dei quali è stata determinata la quota. La precisione della quota geoidica di tali punti rispetto al riferimento altimetrico nazionale deve essere migliore di 5,0 metri ma la precisione relativa deve essere tale che l'errore massimo nella pendenza sia minore dello 1%.

L'errore massimo nella pendenza trasversale va contenuto nel 1/100 oppure 0.5 gradi centesimali.

1.5.7 Profilo trasversale

L'errore massimo nella pendenza trasversale va contenuto nel 1/100 oppure 0.5 gradi centesimali.

1.5.8 Larghezza della strada

L'errore nella misura della larghezza della strada (carreggiata e franco) va contenuto nella misura massima assoluta di 10 centimetri. La misura deve essere fornita ad ogni variazione di larghezza della strada superiore alla precisione indicata e non deve essere necessariamente fornita in corrispondenza di ogni punto dell'asse stradale.

1.6 Considerazioni sul Catasto delle strade

L'art. 6 del Decreto del 2001 definiva i tempi per la realizzazione del catasto e dell'archivio delle strade, rispetto all'entrata in vigore del decreto stesso. In dettaglio, si precisava che la popolazione del catasto fosse completata per:

- autostrade e strade di interesse nazionale, entro 2 anni;
- strade regionali, entro 3 anni;
- strade provinciali e comunali extra-urbane, entro 4 anni;
- altre strade comunali, entro 5 anni.

Come si è già rilevato gli Enti locali che hanno completato e trasmesso il GDF sono molto pochi. Il mancato rispetto della tempistica è giustificato da due diversi ordini di motivi tra loro connessi: il primo, economico; il secondo, legato alla quantità ed alla precisione dei dati da rilevare ed alla architettura dello schema adottato.

Gli Enti gestori, i tecnici, e alcuni Comitati che si sono attivamente occupati della produzione del GDF hanno, infatti, evidenziato che:

- i rilievi ad elevato rendimento condotti con veicoli appositamente strumentati, descritti successivamente, non forniscono tutti i valori degli attributi segmentati previsti dal GDF (es. pendenza ed altezza massima della scarpata, larghezza e profondità massima della cunetta, ecc):

- i dati rilevati con la suddetta metodologia non sempre hanno la precisione prevista dal DMLLPP;
- le indispensabili campagne di rilievo puntuale con i tradizionali strumenti topografici comportano tempi di esecuzione estremamente elevati e costi non compatibili con le risorse finanziarie, sempre più limitate, a disposizione degli Enti e da destinare alla l'acquisizione dei dati da inserire nel GDF;
- dagli atti amministrativi non sempre risulta definito il confine di proprietà (inizio e fine strada)
- inutilità di alcune informazioni in rapporto alle esigenze di gestione della rete di competenza dell'Ente;
- la mancanza di campi in cui inserire le informazioni che i rilievi ad alto rendimento possono fornire (I.R.I., ormaiamento, ect);

Un'accurata analisi delle indicazioni del DMLLPP evidenzia ulteriori problematiche che riguardano, ad esempio:

- la non univocità di denominazione dei punti di giunzione e degli elementi del grafo, in corrispondenza di confini di regione e/o tra diversi enti gestori;
- regole poche chiare, specialmente per le intersezioni, per il passaggio da una configurazione di livello 1 ad una di livello 2; ciò può comportare una diversità significativa dei dati di una intersezione tra due strade gestite da Amministrazioni diverse;
- i problemi connessi alla determinazione dell'ascissa curvilinea e la sua incongruenza con la progressiva chilometrica nominale ottenuta in base alle indicazioni riportate sui cippi chilometrici o ettometrici;
- non sono fissate le tolleranze di alcuni elementi geometrici essenziali quali: larghezza ed altezza dei sovrappassi, delle gallerie, delle cunette, etc;
- l'impossibilità di integrazione del Catasto Strade (numerico) con il Catasto Terreni (digitale);
- l'assenza di indicazioni in merito alle modalità ed ai termini di aggiornamento dei dati;

- la pendenza del profilo trasversale: si deve rilevare ma non esiste un campo in cui si deve riportare; è prescritta la precisione nel rilievo ma non la tolleranza (si deve evidenziare un cambiamento di pendenza dal 2,5% al 3% ?); impossibilità di rilevazione con sistemi ad elevato rendimento.
- la larghezza della strada: si può ottenere facilmente dalla analisi delle immagini se sono ben visibili le strisce di demarcazione delle banchine; specialmente in rilevato, la vegetazione maschera spesso il confine del franco; una tolleranza di 10 cm, per la generalità degli impiego delle informazioni catastali, sembra eccessiva.

CAPITOLO 2

GIS (Geographic Information System)

2.1 Definizioni

Il Catasto stradale, come sopra specificato deve utilizzare una banca dati di tipo relazionale ed un sistema GIS (Geographic Information System). La letteratura tecnica riporta molteplici definizioni di GIS, di cui le più usate sono:

a) Definizione di GIS basata sul concetto di Database

“un database in cui la maggior parte dei dati sono spazialmente indicizzati e sui quali un insieme di procedure opera per rispondere a “richieste” legate ai loro attributi spaziali” *Smith T.R., S. Menon, J.L. Starr, and J.E. Estes, 1987. Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems. International J. of Geographical Information Systems, 1: 13-31.* “ogni insieme di procedure manuali o informatiche usato per memorizzare e manipolare dati georeferenziati” *Aronoff S., 1989. Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL Publ., Ottawa, Canada.*

b) Definizione di GIS come struttura costituita da un insieme di strumenti e tecnologie:

“una struttura costituita da un potente insieme di strumenti e tecnologie preposta, nel suo insieme, all'acquisizione, archiviazione, gestione, trasformazione, analisi e

visualizzazione di dati spaziali georeferenziati (o comunque attinenti informazioni geografiche) estrapolati dal mondo reale per un particolare insieme di scopi” *Burrough P., McDonnell A. (1998) – Principles of Geographical Information Systems – Oxford University Press, Oxford*, “un sistema per catturare, memorizzare, controllare, manipolare, analizzare e visualizzare dati che sono spazialmente riferiti alla Terra” *Department of Environment (DoE), 1987. Handling Geographic Information. HMSO, London. er, 1988*

c) Definizioni di GIS basate su aspetti organizzativi:

“un insieme automatizzato di funzioni che fornisce avanzate capacità di memorizzazione, recupero, manipolazione e visualizzazione di dati georeferenziati” *Ozemoy V.M., D.R. Smith, and A. Sicherman, 1981. Evaluating computerized geographic information systems using decision analysis. Interfaces, 11: 92-98* “un sistema di supporto alle decisioni che concernono dati georeferenziati” *Cowen D.J., 1988. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54: 1551-1554.*

Il GIS richiede, in ogni caso, l'impiego di:

- un hardware composto da uno o più computer, collegati in rete, e da opportune periferiche;
- un software che consente agli utilizzatori l'interrogazione, la gestione, l'analisi dei dati sia per quanto concerne la componente spaziale sia per quella descrittiva.

Il sistema GIS, infatti, gestisce tre differenti tipologie di informazioni:

- **Geometriche:** relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti reali attraverso la forma (punto, linea poligono), la dimensione e la posizione geografica;
- **Topologiche:** riguardanti le relazioni reciproche di connessione, adiacenza, inclusione che si instaurano tra gli oggetti;
- **Informative:** riferite ai dati numerici o testuali associati a ogni oggetto reale.

La posizione geografica di ciascun elemento è definita in base ai dati provenienti da diversi sistemi di proiezione e riferimento,

come Gauss Boaga, UTM, wgs84. In Italia si utilizzano tre differenti sistemi di riferimento (Datum):

- ✓ **roma40**: il più usato a fini geodetici e topografici ed adottato per la cartografia nazionale e regionale;
- ✓ **ed50**: utilizzato nella cartografia IGM di nuova produzione;
- ✓ **wgs84-etr89**: di recente adozione ed utilizzato per l'inquadramento della nuova cartografia ufficiale al 25.000 dell'IGM.

Tutte le informazioni, geografiche o meno, sono organizzate in un database relazionale (*Relational DBMS*) che, a differenza del *DBMS* tradizionale basato su una struttura "ad albero", utilizza una serie di tabelle di dati, in cui gli attributi sono collegati tra loro mediante relazioni multiple.

I GIS sono oggi comunemente impiegati per il controllo, la manutenzione, la pianificazione di interventi di miglioramento e ripristino e la gestione di reti di trasporto (es. stradali, ferroviari, ecc.), di reti di servizi (telefonia fissa e mobile, reti elettriche, gas, acqua, ecc.); per il marketing (pianificazione delle campagne pubblicitarie, studio delle abitudini dei consumatori, per ottimizzare la disposizione sul territorio dei punti vendita in base alla demografia del territorio, ecc.). Pertanto, il GIS, utile alla gestione del territorio, deve necessariamente contenere in forma strutturata informazioni e dati inerenti i sotto elencati elementi.

Spazi	Caratteristiche dell'ambiente naturale Stato dell'ambiente naturale Uso e copertura del suolo
Attività	Attività Condizioni Socioeconomiche
Canali di Comunicazione	Infrastrutture
Comunicazioni	Flussi di persone merci, comunicazioni ed energia
Norme	Diritti, norme, sistemi di riferimento, toponomastica

(Tratto da J.B. McLoughlin, *Urban and Regional Planning: A system Approach*, London 1969)

2.1.1 Standardizzazione dei dati geografici

La rapida diffusione dei sistemi informativi di tipo territoriali ed il loro impiego generalizzato da parte gli enti pubblici e dei privati dei cittadini ha comportato la necessità di provvedere ad una standardizzazione dell'informazione geografica.

A livello internazionale è stato istituito il Comitato Tecnico ISO/TC211 preposto alla standardizzazione cui aderisce per l'Italia l'UNI, costituito da 30 membri attivi e da 26 membri osservatori. Ad oggi, il comitato ha prodotto i seguenti standard d'informazioni tipo:

- **Identificazione della base dati (Dataset identification):**
contiene le informazioni necessarie per identificare chiaramente e univocamente l'insieme di dati geografici

- **Descrizione generale (Dataset overview):**
contiene le informazioni generali sull'insieme di dati geografici, quali:

- ✓ descrizione testuale che riassume il contenuto dell'insieme di dati geografici;
- ✓ informazioni sullo scopo per cui il dataset è stato realizzato;
- ✓ notizie su come è stato realizzato;
- ✓ sistema di riferimento;
- ✓ riferimenti a eventuali documenti o ad altri insiemi di dati geografici correlati;

- **Qualità complessiva della base dati (Dataset quality elements):**

Vengono specificate le fonti da cui provengono i dati e fornite delle valutazioni su opportuni parametri di qualità. Ogni sottoinsieme geografico deve avere informazioni sufficienti per indicare chi è il responsabile della sua produzione originale e una descrizione tecnica del suo processo di acquisizione e di elaborazione;

- **Sistema di riferimento spaziale (Spatial reference system):**
Viene descritto il sistema di riferimento spaziale utilizzato per posizionare gli oggetti geografici. Il sistema di riferimento può essere *diretto*, cioè basato su un sistema di coordinate, oppure

indiretto, cioè che utilizza riferimenti ad oggetti territoriali la cui posizione è nota (ad esempio limiti amministrativi, toponimi, indirizzi postale, ecc...);

- **Estensione (Extent):**

Vengono descritte le estensioni planare (planar extent), verticale (vertical extent) e temporale (temporal extent) del dataset. E' possibile specificare più estensioni per ogni dataset (es. dataset composti da più fogli di mappa);

- **Definizione dei dati (Data definition):**

Gli oggetti geografici possono essere definiti in diversi modi in dataset differenti. Per facilitare il confronto fra insiemi di dati geografici differenti bisogna fornire una descrizione di quelle caratteristiche degli oggetti geografici che possono essere utilizzate per distinguere tra classi di oggetti geografici (Object Type) ovvero distinguere fra oggetti geografici che appartengono alla stessa classe (Attributes) o infine descrivere le relazioni tra classi di oggetti (Association Type)

- **Classificazione (Classification):**

I vari tipi di oggetti, attributi e associazioni presenti nel dataset, descritti nella sezione di definizione dei dati (Data Definition), possono essere descritti anche attraverso un sistema di classificazione, attraverso il quale vengono organizzati in una o più gerarchie all'interno di un dizionario dei termini (Thesaurus=dizionario dei sinonimi);

- **Informazioni amministrative (Administrative metadata):**

Informazioni riguardanti la società o l'ente che sono proprietari dei dati, i costi, le modalità di pagamento e di acquisto dei dati e i supporti su cui i dati vengono distribuiti;

- **Informazioni sui Metadati:**

L'informazione sui metadati riguardano:

- ✓ la data in cui i metadati sono stati prodotti;
- ✓ la data dell'ultima verifica che è stata effettuata sui metadati;
- ✓ la data in cui è stato effettuato l'ultimo aggiornamento, la data della prossima verifica;
- ✓ il sistema di riferimento spaziale utilizzato per specificare l'estensione planare del geodataset.

Nello scenario italiano è da segnalare il progetto **INTESAGIS** approvato dalla “Conferenza Stato Regioni e Province Autonome” nel Settembre 1996. Scopo del progetto è generare una infrastruttura geografica per la condivisione di dati spaziali di interesse comuni:

- sviluppo delle specifiche tecniche per i geodatabase alle scale 1:1.000/2.000, 1:5.000/10.000, 1:25.000/50.000 e 1:250.000
- aggiornamento della rete geodetica nazionale, specifiche tecniche per il modello digitale del terreno e per le ortoimmagini;
- sviluppo di un database di indirizzi e di uso del suolo;
- integrazione di dati catastali;
- gestire dati geografici a differente scala e derivarli da database a scala maggiore;
- considerare dati 3D;
- usare un sistema di riferimento generale;
- conformarsi agli standard ISO/TC 211;
- usare dati geografici comuni in modo tale da sviluppare applicazioni a valore aggiunto (interoperabilità).

Il Comitato Tecnico di Coordinamento (CTC) si compone di delegati appartenenti a:

- Amministrazione Pubblica;
- Istituto Geografico Militare (I.G.M.);
- Centro Informazioni Geotopografico Aeronautica (CIGA);
- Autorità dell'Informatica per la Pubblica Amministrazione (AIPA);
- Istituto Idrografico della Marina (IIM);
- Dipartimento del Territorio;
- APAT;
- Servizio Geologico Nazionale di 20 Regioni, 100 Province, 8000 Comuni.

2.2 Software per la rappresentazione dei GIS

Esistono numerosi software commerciali finalizzati all'elaborazione dei dati GIS e alla loro rappresentazione bi dimensione e/o tridimensionale. Si descrivono brevemente alcuni di tali software proposti in ordine alla complessità delle funzionalità implementate.

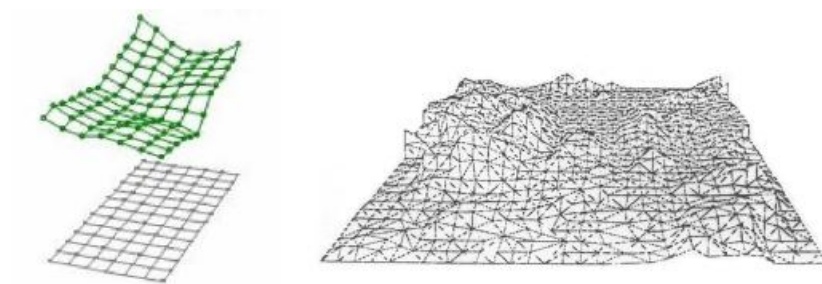
2.2.1 Modelli digitali del terreno

La semplice rappresentazione tridimensionale del terreno, senza alcuna indicazione dei particolari topografici né della toponomastica, utilizza generalmente delle tabelle in cui sono riportate le coordinate planimetriche di una serie di punti e la relativa quota.

Esistono due diverse tipi di modelli di rappresentazione:

- ✓ DTM Digital Terrain Model modello della superficie del terreno
- ✓ DEM Digital Elevation Model modello del terreno + fabbricati e manufatti

Per entrambi i modelli, i punti quotati sono in corrispondenza dei vertici degli elementi rettangolari o triangolari (TIN - Triangulated Irregular Network) che costituiscono una maglia più o meno fitta.



Esistono DTM a maglia larga di pubblico dominio per tutto il mondo (GTOPO30 con maglia di 30" pari a circa 900 m); quelli di maggior densità vanno acquistati o autoprodotti. I DTM

costituiscono un prodotto complementare alla cartografia che permette di eseguire utili e interessanti analisi in modo automatico.

Le tabelle dei punti quotati possono essere create utilizzando metodologie e strumentazioni differenti:

- ✓ da rilievi a terra eseguiti con strumenti topografici e/o GPS;
- ✓ da cartografia esistente mediante digitalizzazione delle curve di livello e punti quotati;
- ✓ da fotogrammi aerei stereoscopici orientati, anche in modo automatico (mediante autocorrelazione: software Orthoengine PCI, ...).
- da rilevamenti laser-scanning, descritti successivamente;
- ✓ da telerilevamento (SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission)

Appositi software (ad es. SURFER®) permettono di rappresentarli in vari modi:

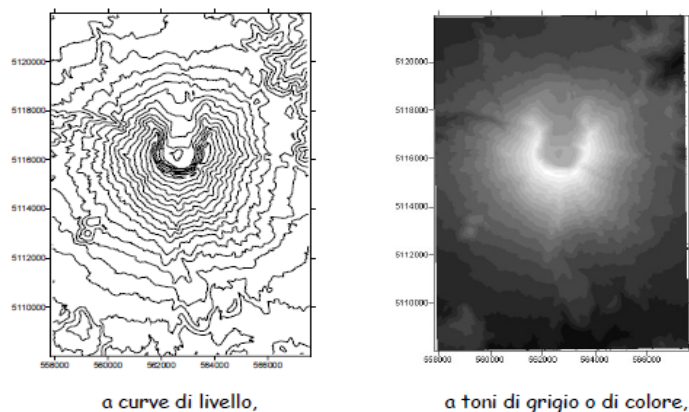


Fig.1: - Esempi di carte

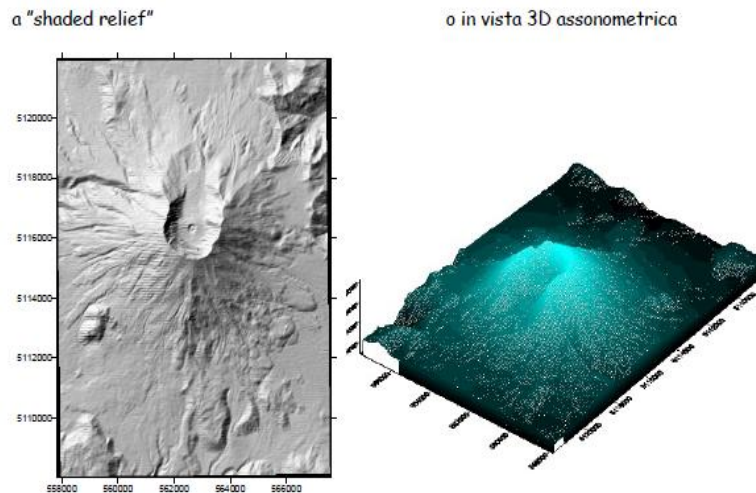


Fig.2: - Esempi di altre rappresentazioni dei rilievi

2.2.2 Produzione delle carte numeriche

La cartografia numerica è un strumento molto utilizzato, specialmente in ambiente CAD, per visualizzare le caratteristiche 2D degli elementi su una mappa, ad esempio:

- ✓ planimetria 2D di un edificio,
- ✓ area occupata,
- ✓ perimetro visibile,
- ✓ ecc.

Generalmente si possono avere numerosi formati delle mappe cartografiche, a seconda dello scopo cui è finalizzata la rappresentazione grafica.

Per la creazione delle carte numeriche, esistono due diverse tecniche:

- DIRETTA (nuovo rilevamento) mediante fotogrammetria aerea o telerilevamento da satellite. Le riprese aeree o satellitari vengono elaborate mediante sistemi di restituzione hardware-software digitali o analitici (o anche analogici resi analitici mediante encoder) che

producono come output la carta numerica visualizzandola e lavorando su video grafico. Le carte attuali (dal 1980 circa) nascono come carte numeriche.

- **INDIRETTA** (reimpiego di materiale cartografico esistente) mediante digitalizzazione delle carte tradizionali su supporto cartaceo effettuata mediante scanner (ottenendo files raster) o digitizer (ottenendo files vettoriali) le “vecchie” carte possono essere convertite in numeriche con alcune limitazioni (files bidimensionali, perdita di precisione, ...)

Queste possono essere di due formati:

- ✓ *raster*: sono files binari o di testo costituiti da *matrici di punti* (PIXEL = PICTure ELement) a ciascuno dei quali viene assegnato un valore di intensità luminosa o un colore- Ogni pixel è individuato:
 - dalla posizione espressa da n. riga, n. colonna (nel sistema di riferimento interno dell'immagine);
 - da un valore ad esso associato.
- ✓ *vettoriale*: Contengono *entità grafiche* di vario tipo (punti, linee, “polilinee”, curve, aree, ...) descritte *analiticamente* mediante le coordinate (2D o 3D) dei vertici caratteristici che definiscono tali entità (ad es. per un quadrilatero che rappresenta un fabbricato si avranno 4 punti) Le dimensioni dei files di tipo vettoriale sono inferiori a quelle dei files raster e la descrizione geometrica, essendo analitica, è univoca.

Una caratteristica molto importante dei files vettoriali è quella di poter essere organizzati in **layer** (strati o livelli). Nella cartografia numerica, a ogni layer (identificato da un codice alfanumerico) viene associato un “livello informativo” ovvero una classe di “oggetti” rappresentati (strade, fabbricati, idrografia, curve di livello, toponomastica, reticolati, ...).

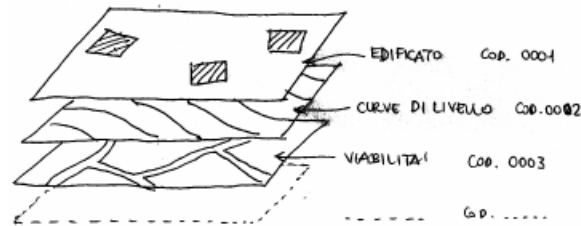


Fig.4: - Struttura della cartografia numerica

Ogni punto dell'immagine presente sul monitor è georeferenziato "internamente" in un prestabilito Datum (ad es. Gauss-Boaga, WGS84,...). Il software di gestione per ciascuno dei suddetti punti, può visualizzare o meno le corrispondenti 2 o 3 coordinate.

I formati vettoriali più comuni sono:

- ✓ DWG Software AutoCAD®, formato binario;
- ✓ DXF Formato di scambio (Drawing eXchange Format), testo ASCII;
- ✓ NTF Utilizzato dal Catasto Italiano per le mappe digitalizzate, binario

Applicazioni dei formati raster nella cartografia

- ✓ *Ortofotocarte digitali* sono carte ricavate direttamente dai fotogrammi aerei o da immagini satellitari, applicando le necessarie correzioni proiettive e di scala (tenendo conto della quota). Nascono e vengono utilizzate in formato raster;
- ✓ *Scansione di carte tradizionali preesistenti* per assicurarne la conservazione nel tempo e renderle consultabili a video. Per ottenerle occorrono scanner di grande formato (in genere a rullo);
- ✓ *Files di stampa in formato raster* vengono realizzati a volte anche per carte vettoriali per consentirne la stampa in grande quantità con procedure tipografiche (ad es. per la carta IGM serie 25).

Per la cartografia vengono in genere preferiti i formati vettoriali (v. seguito) che forniscono una rappresentazione analitica che risulta univoca nella memorizzazione e attribuzione di coordinate, oltre ad occupare minor spazio su HD e RAM

Applicazioni dei formati vettoriali nella cartografia

- ✓ *Cartografia aerofotogrammetrica* ottenuta con restituzione analitica o digitale “nasce” in formato vettoriale, georeferenziata nel datum/sistema cartografico in cui si esegue la restituzione (Esempi: Carte IGM serie 25, Carte Tecniche Regionali);
- ✓ Carte ottenute da *digitalizzazione manuale* (con tavolo digitizer) o automatica (scansione + vettorializzazione del raster) di carte tradizionali preesistenti (Esempi: Mappe catastali) (files 2D in formato NTF)

Da una carta vettoriale è possibile ottenere plottaggi su vari supporti, alla scala nominale o ad altre scale (ad es. ingrandite). La precisione resta quella corrispondente alla scala nominale. L'impiego più vantaggioso e raccomandabile delle carte numeriche vettoriali è quello *a video grafico*, che sfrutta appieno le caratteristiche della carta. Appositi software applicativi permettono di calcolare analiticamente (e quindi in modo univoco) volumi, aree, sezioni, profili.

2.2.3 3DCarto ®

Il software 3DCarto ® è un'applicazione cartografica, finalizzata alla navigazione ed alla localizzazione di uomini e mezzi, in tempo reale, su mappe tridimensionali. Questo software è composto da varie sezioni aventi ciascuna diverse funzionalità [1]:

- ✓ Costruzione di modelli tridimensionali di vaste aree di territorio a partire da aerofotogrammetrie e misure altimetriche ad alta definizione;
- ✓ Importazione e georeferenziazione di modelli tridimensionali con la possibilità di inserire nelle mappe dei modelli fotorealistici di edifici e aree particolarmente significative;
- ✓ Interrogazione di database vettoriali per la navigazione della rete stradale;
- ✓ Gestione della grafica tridimensionale;
- ✓ Distribuzione in rete delle mappe tridimensionali.

I livelli di dettaglio delle ortofoto e dei DTM (Digital Terrain Model) utilizzati per la generazione degli ambienti tridimensionali, sono opportunamente impostati in modo automatico dall'applicazione attraverso un algoritmo di riduzione dei poligoni, per consentire fluidità alla navigazione, garantendo comunque il massimo grado di realismo. Tale algoritmo viene applicato alla “griglia tridimensionale dei triangoli” TIN (Triangulated Irregular Networks) determinanti la precisione morfologica del terreno. L'immagine sottostante evidenzia il diverso numero dei poligoni prima e dopo l'applicazione dell'algoritmo sopra citato:

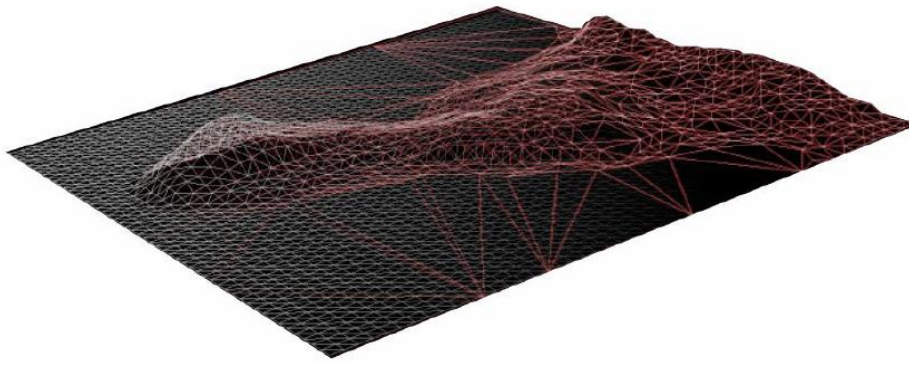


Fig. 5 - Le linee di colore grigio mostrano gli spigoli dei poligono prima dell'applicazione dell'algoritmo, mentre le linee rosse individuano i poligoni dopo l'applicazione

La visualizzazione di ampie aree di territorio è resa possibile attraverso la modularità e la gestione di diversi livelli di definizione. La modularità consiste nella suddivisione dell'area totale in piccole aree quadrate di identica dimensione in modo da gestire dinamicamente il raggio di visualizzazione, limitando o ampliando a scelta l'area visibile.

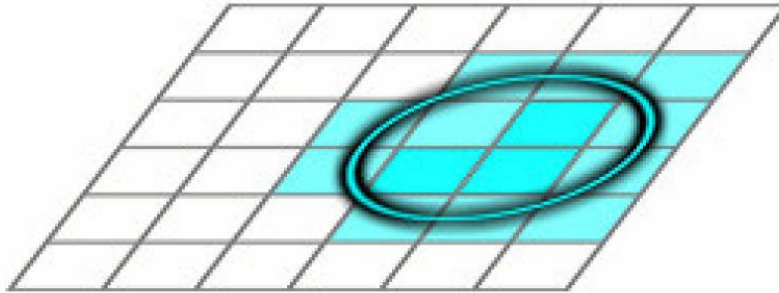


Fig. 6 - Esempio di suddivisione in moduli. L'area verde identifica i moduli coinvolti nel raggio di visione.

Il concetto di raggio di visione è maggiormente comprensibile quando si introducono più livelli di definizione dell'ortofoto. 3DCarto® permette, infatti, una gestione dinamica dei livelli di definizione durante la navigazione consentendo di ottimizzare sia l'occupazione di memoria che la velocità di rendering. L'utilizzo di questa tecnica consente quindi di assegnare a diversi moduli, livelli di dettaglio della texture differenti, come mostra l'immagine sottostante:



Fig. 7 - La parte di mappa più vicina all'osservatore sarà alla massima definizione. Le zone più lontane saranno di qualità più bassa, garantendo comunque una visualizzazione ottimale.

L'applicazione presenta altre caratteristiche quali:

- ✓ Possibilità di inserire nelle mappe modelli fotorealistici di edifici e aree particolarmente significative, costruiti ad hoc o importati da comuni CAD tridimensionali;

- ✓ · Georeferenziazione dei modelli 3D inseriti all'interno delle mappe;
- ✓ · Mappe tridimensionali integrabili da database vettoriali per la navigazione della rete stradale.
- ✓ · Possibilità di cliccare su un punto della mappa per conoscerne l'indirizzo. Viceversa, dato un indirizzo noto, è possibile individuarlo facilmente sulla mappa 3D;
- ✓ Possibilità di inserire collezioni di obiettivi da posizionare sulla mappa.

3DCarto è studiato in particolare per la gestione di flotte. È possibile infatti visualizzare sulla mappa mezzi radiolocalizzati e seguirne i movimenti in tempo reale, oppure registrarne gli spostamenti per poi rivedere il percorso effettuato. Tale sistema consente, dunque, un'ampia gamma di applicazioni, tra cui:

- ✓ Veloce pianificazione degli interventi nel caso di incidenti stradali;
- ✓ · Pianificazione degli interventi nel caso di incendi o alluvioni;
- ✓ · Visualizzazione della rete stradale vettoriale sovrapposta alla cartografia raster.
- ✓ · Visualizzazione dei pendii montani a rischio valanghe;

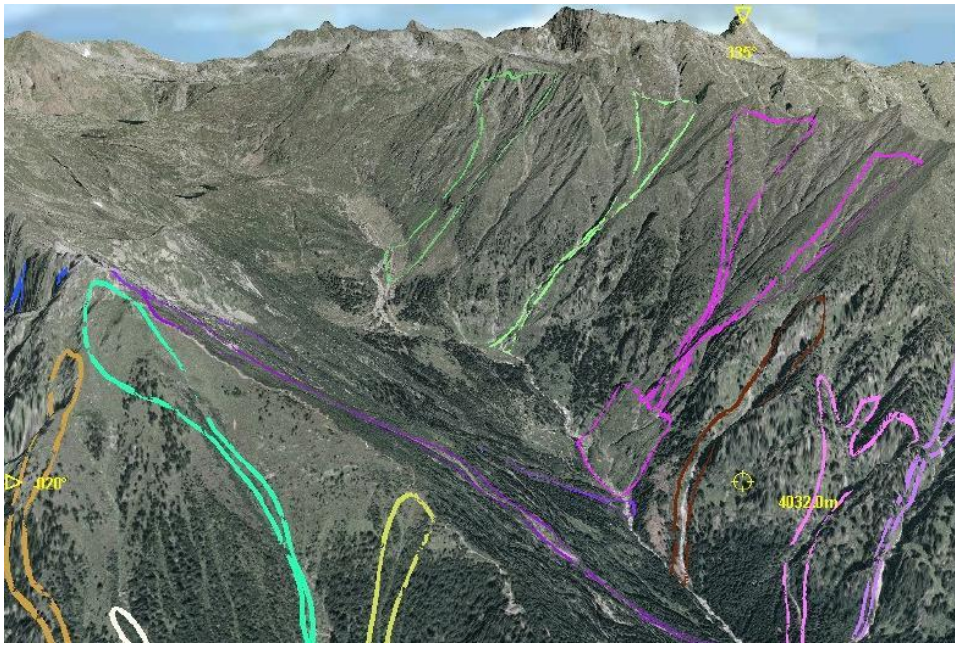


Fig. 8 – Esempio di vista 3D

3DCarto ® d'altro canto, presenta alcune limitazioni:

- ✓ non consente un'analisi dettagliata dei dati, siano essi GIS che importati dall'utilizzatore;
- ✓ non consente l'editing sui dati geografici;
- ✓ gestione ed interazione limitata con i metadata inseriti nella scena.

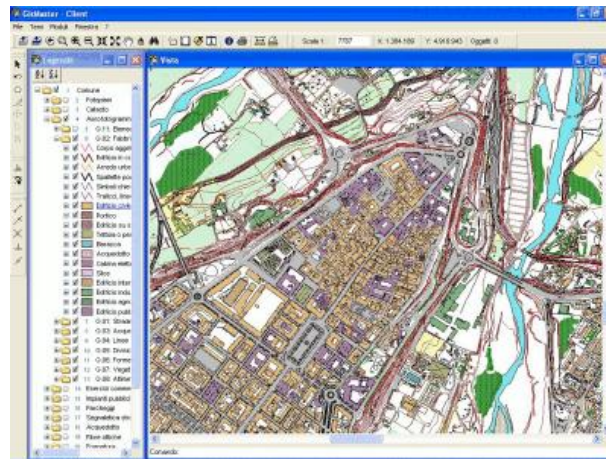
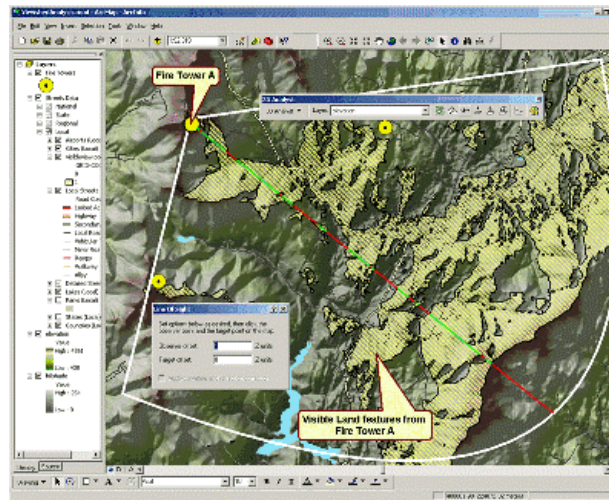
2.2.4 ArcGIS ®

ArcGIS ® è un'applicazione tra le più utilizzate e più evolute sulla gestione dei dati GIS. Tale software si propone come un tool di sviluppo per creare soluzioni specifiche nell'ambito della gestione del territorio in generale. Consente un'elevata interazione con gli oggetti inseriti e presenta ottime capacità di relazionare dati spaziali per ottenere un elevato dettaglio del modello tridimensionale del terreno. ArcGIS ®, oltre alle

caratteristiche standard delle comuni applicazioni che operano su dati GIS, consente di visualizzare sulla mappa una vastissima gamma di dati, anche sottoforma di grafici tridimensionali. Le principali funzionalità di questa applicazione sono:

- ✓ creazione di modelli tridimensionali utilizzabili nelle mappe;
- ✓ navigazione e prospettiva della scena completamente interattiva e personalizzabile;
- ✓ visualizzazione dei dati secondo prospettiva globale e locale;
- ✓ navigazione con terreno ed ortofoto a multirisoluzione;
- ✓ analisi e visualizzazione di grandi quantità di dati (terabytes);
- ✓ estrusione di oggetti 2D attraverso la lettura di specifici attributi sui dati;
- ✓ modellazione di elementi strutturali nel sottosuolo o sottacqua;
- ✓ calcolo di: superfici di aree, volumi occupati da oggetti, inclinazione di pendii, aspetto del territorio ed ombreggiature;
- ✓ consultazione di database al fine di ottenere informazioni specifiche relative a particolari oggetti inseriti nello scenario oppure a determinati luoghi;
- ✓ costruzione di modelli con l'utilizzo di ModelBuilder™ ed analisi dei risultati tridimensionali;
- ✓ creazione di simboli tridimensionali e di textures ad alta definizione al fine di ottenere un elevato realismo;
- ✓ creazione di oggetti animati all'interno della scena;
- ✓ possibilità di salvare le animazioni in diversi formati, quali: MPEG, AVI e QuickTime® ;
- ✓ generazione delle superfici attraverso tecniche TIN (Triangulated Irregular Networks) o interpolazione raster. ArcGIS® è quindi uno strumento molto potente per la gestione dei dati GIS in generale.

Di seguito si riportano alcune immagini relative all'applicazione:



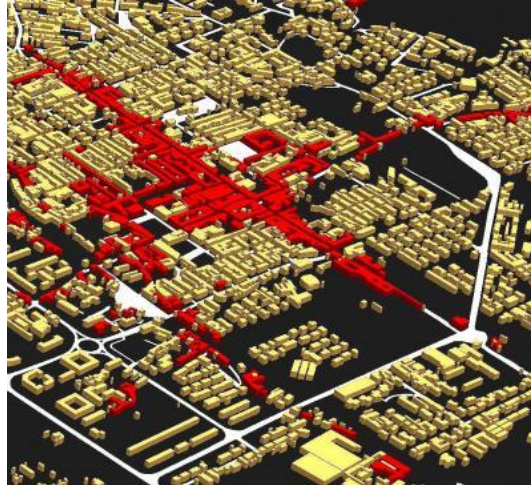


Fig. 9 – Esempio di visuali di lavoro

È possibile inoltre, integrare le funzionalità sopra elencate con ulteriori caratteristiche finalizzate a scopi più specifici come, per esempio, la gestione e l'analisi di una rete stradale. ArcGIS Network Analyst ® consente, infatti, di salvare percorsi, visualizzare zone con particolari restrizioni alla circolazione oppure simulare le condizioni di traffico in una determinata area. Le soluzioni proposte da ArcGIS ® sono molteplici e spaziano dal tracking di veicoli o animali per finire all'analisi di un territorio sotto l'aspetto del business e del marketing. Ciascuna di queste peculiarità viene implementata dall'applicazione molto dettagliatamente al fine di ottenere ottimi risultati.

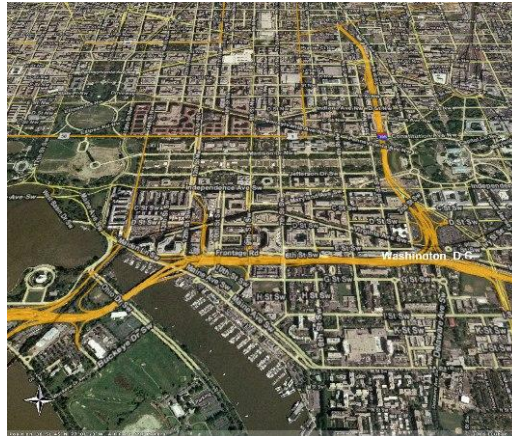


Fig. 10 – Esempio di percorso impostato su ArcGIS Network Analyst

2.3 Metodologie di acquisizione dei dati geografici

2.3.1 Tecniche a Laser Scanning

La tecnica a laser scanning si basa sul seguente principio di funzionamento: emesso un impulso laser, il tempo di restituzione dell'eco viene trasformato in distanza rispetto al bersaglio. Tale sistema può essere installato a bordo di velivoli ed utilizzato per acquisire il profilo altimetrico di una determinata area, compresi tutti gli elementi strutturali e naturali presenti su un territorio.

Il risultato che si ottiene con l'utilizzo di questa tecnica è un insieme di punti con un livello di dettaglio che può arrivare anche a 10 centimetri di distanza tra due punti adiacenti. Il problema principale consiste nel riconoscimento e nell'estrazione degli oggetti tridimensionali presenti sulla superficie analizzata. A tal fine vengono spesso utilizzate immagini CIR (Color InfraRed) per classificare le zone occupate dai diversi elementi presenti sul territorio, per giungere,

attraverso le informazioni fornite dal laser scanning, alla ricostruzione degli oggetti 3D.

In dettaglio le fasi della scansione e di elaborazione dei dati partenzia:

A) Acquisizione dai dati con una scansione laser;

- Messa in stazione (o in "bolla") dello strumento: per i laser a scansione terrestre si utilizza un treppiedi che non deve essere messo in "bolla". Per i laser che si utilizzano in laboratorio si utilizza un piano ottico sensibile alle oscillazioni;
- Acquisizione dei dati: viene prodotta la nuvola di punti, la quale però è limitata dalla finestra di scansione dello strumento che lascia in ombra una parte dell'oggetto. Nel caso in cui l'oggetto non è stato scansionato completamente bisognerà effettuare altre scansioni le quali devono comprendere dei punti in comune con una sovrapposizione del 30% (si possono utilizzare mire o target). Ogni scansione possiede un proprio sistema di riferimento che generalmente coincide con il centro dello strumento;
- Pulitura della nuvola di punti: si attua un filtraggio del rumore presente nella nuvola di punti acquisita dovuto essenzialmente alla divergenza del raggio laser ed alla deviazione standard dello strumento;
- Allineamento delle singole scansioni (o registrazione delle scansioni). È la procedura che consente di allineare ed unire le singole acquisizioni in una unica nuvola di punti secondo un determinato sistema di riferimento;
- Triangolazione e costruzione della mesh (telaio di punti);
- Chiusura della mesh e correzione delle facce anormali;
- Decimazione: si riduce il modello per renderlo utilizzabile in un database;
- Applicazione delle textures al modello 3D;
- Esportazione per l'uso richiesto: rendering;

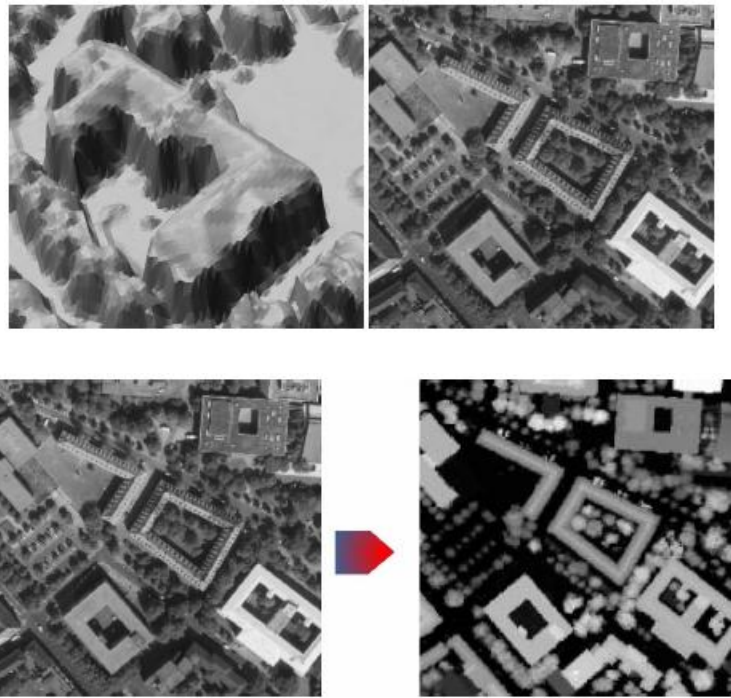
B) Acquisizione di immagine CIR georeferenziate;

C) Elaborazione dell'ortofoto finalizzata alla classificazione dei diversi elementi presenti sull'area di interesse;

D) Applicazione di algoritmi all'immagine sopra ottenuta volti all'inseguimento dei contorni per convertire il perimetro di ciascun elemento in formato vettoriale;

E) Generazione dei modelli tridimensionali;

Questa procedura risulta molto efficiente se si dispone di planimetrie digitalizzate ed ortofoto ad alta risoluzione. Ad esempio, una risoluzione spaziale di soli due metri non sarebbe sufficiente per poter apprezzare i dettagli degli edifici visti nelle immagini sotto illustrate.



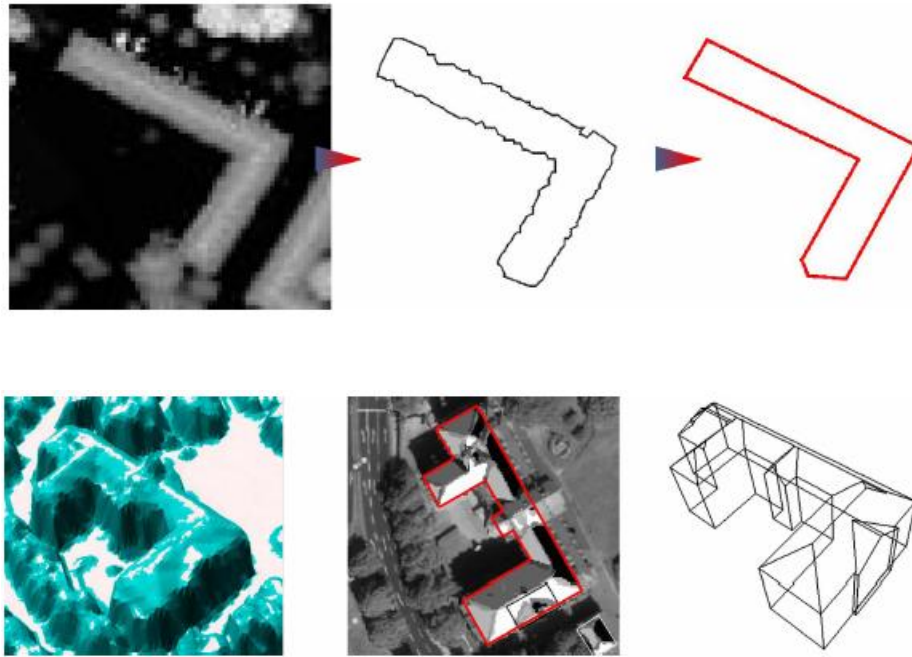


Fig.11: - Varie fasi del processo di riconoscimento con il laser scanning

2.3.2 Ortofoto

Una ortofoto o ortofotografia è una fotografia aerea che è stata geometricamente corretta (cioè che ha subito procedimento di ortorettifica) e georeferenziata in modo tale che la scala di rappresentazione della fotografia sia uniforme, cioè la foto può essere considerata equivalente ad una mappa.

A differenza di una semplice foto aerea, una ortofoto può essere usata per misurare distanze reali, in quanto essa costituisce una accurata rappresentazione della superficie della Terra, infatti è stata corretta in base ai rilievi topografici, alla distorsione della lente e all'orientamento della macchina fotografica (roll, pitch, heading).

La stessa tecnica di rappresentazione è sempre più diffusa anche nella fotogrammetria del vicino. L'ortofotoproiezione viene spesso utilizzata per rappresentare in prospetti bidimensionali elementi architettonici molto complessi come ad esempio volte, cupole, chiese barocche ecc.

L'affidabilità metrica di un'immagine fotografica aerea è funzione esclusiva della rigorosità con la quale viene mantenuto localmente, e cioè in ogni suo punto, il relativo rapporto di scala rispetto al terreno rappresentato. Questo rapporto di scala è come noto definito dal rapporto fra la distanza principale f della camera metrica utilizzata per la presa aerofotogrammetrica e la distanza relativa H del terreno ritratto. Logicamente, variando la morfologia del terreno, per il suo sviluppo in altezza od in profondità, varia evidentemente la distanza relativa H e con questa il valore locale del rapporto f/H che ne esprime la relativa scala di rappresentazione. E' infatti per questo motivo essenziale che le immagini fotografiche degli oggetti più prossimi al punto di presa, a parità di dimensione, risultano più grandi di quelle relative agli oggetti più lontani dalla stesso punto di presa. Fatto che si verifica oltretutto anche nella normale osservazione visiva. Per garantire la costanza del rapporto di scala in tutti i punti dell'immagine fotografica aerea, risulta allora necessario riproiettare il negativo originale in maniera da eliminare gli effetti conseguenti alle predette variazioni locali della quota relativa di volo H . La realizzazione della nuova immagine corretta potrebbe essere infatti ottenuta per raddrizzamento differenziale attraverso una proiezione ottica diretta, una proiezione ottica indiretta ed una proiezione elettronica. Il risultato ottenuto mediante questo raddrizzamento differenziale dovrebbe equivalere ad un'immagine fotografica realizzata portando il punto di presa all'infinito, in maniera da rendere paralleli fra loro i vari raggi proiettanti, ciò che equivale a realizzare un'immagine ortofotografica del terreno interessato. Il raddrizzamento differenziale a proiezione ottica diretta può essere agevolmente realizzato proiettando il negativo per piccoli segmenti, variandone con continuità l'ingrandimento in funzione delle

variazioni altimetriche del modello stereoscopico. Operazione che può realizzarsi con variazione della distanza del centro di proiezione. Il procedimento operativo è in prevalenza off-line e si realizza in due distinte fasi: quella della registrazione dei profili altimetrici e quella della ortoproiezione. Il sistema che lo realizza è costituito da una unità di memoria analogica collegata ad un apparato di stereorestituzione, e un ortoproiettore con unità di lettura. La scansione viene effettuata seguendo il profilo del terreno lungo l'asse delle strisciate, con una velocità di scorrimento controllata e variata con continuità in funzione dei dislivelli altimetrici dello stesso profilo. Il raddrizzamento differenziale per proiezione ottica indiretta viene invece realizzato per variazione della distanza focale del sistema di proiezione. La variazione locale dell'ingrandimento è in questo caso affidata esclusivamente al sistema ottico che, opportunamente assistito da un elaboratore, lo realizza mediante appositi zoom, cioè attraverso sistemi ottici di più lenti centrate, in grado di far variare le dimensioni dei segmenti di immagine di volta in volta considerati, sulla base delle variazioni altimetriche dei modelli stereoscopici. L'operazione di raddrizzamento differenziale viene così effettuata per trasformazione ottica, correggendo di volta in volta la dimensione e l'orientamento del segmento d'immagine considerato, mediante un dispositivo a doppio zoom e un prisma di Amici. Il raddrizzamento differenziale può essere infine realizzato per correlazione elettronica delle immagini. Un procedimento che permette di confrontare automaticamente le corrispondenti porzioni dei due fotogrammi stereoscopici e di procedere quindi alla formazione del relativo modello stereoscopico per svilupparne la sua restituzione ed il successivo raddrizzamento differenziale delle prese fotografiche. Il sistema operativo è essenzialmente composto da due scanners, un correlatore automatico di immagine, un elaboratore di controllo, un quadro operativo ed una stampante.

2.3.3 Immagini satellitari ed aeree ad alta risoluzione

Le immagini satellitari ed aeree ad alta risoluzione costituiscono un'importante fonte informativa utilizzata sempre più frequentemente in molteplici campi applicativi. Grazie alla possibilità di distinguere a scala metrica elementi presenti sul terreno quali edifici, alberi, ecc, è possibile classificare e ricostruire tali oggetti in un ambiente tridimensionale. Le tecniche ad analisi di immagine, anche se consentono un buon riconoscimento degli oggetti, devono essere necessariamente integrate da altre informazioni per poter creare un'accurata planimetria 3D, quali:

- ✓ profilo altimetrico del territorio (fornito ad esempio da scansione laser anche a bassa risoluzione);
- ✓ altezza relativa di ogni elemento classificato nell'ortofoto e poi presente sulla mappa.

Questa tecnica consente quindi di gestire una mole di dati minore rispetto alla precedente, anche se il reperimento delle informazioni aggiuntive sopra citate non sempre è possibile.

Ottenuta la planimetria di un territorio, i principali passi per estrarre gli elementi 3D utilizzando soltanto le informazioni disponibili nell'ortofoto sono :

- ✓ segmentazione dell'immagine per la classificazione degli oggetti presenti nella scena;
- ✓ Applicazione di algoritmi per il riconoscimento dei contorni;
- ✓ Ricostruzione dei segmenti finalizzata ad ottenere continuità nelle linee;
- ✓ Estrusione del perimetro per ottenere l'oggetto tridimensionale.

Le immagini ad alta risoluzione permettono inoltre di ricostruire l'esatta morfologia di alcuni elementi avente geometria ben definita. Questa tecnica necessita però di un ulteriore inseguimento di contorni anche all'interno dell'oggetto in esame. Un'informazione aggiuntiva molto importante riguarda l'altezza degli oggetti 3D, che necessariamente deve essere fornita assieme all'immagine satellitare o aerea. Tale

parametro generalmente viene fornito tramite cartografia o derivato dalla scansione laser come discusso in precedenza.

2.3.4 I satelliti artificiali

I satelliti artificiali sono oggetti appositamente progettati, realizzati e posti in orbita attorno alla Terra o ad un altro corpo celeste. A seconda delle esigenze, un satellite artificiale terrestre percorre una predefinita che, a seconda del piano su cui giace si definisce : orbita polare, orbita equatoriale, orbita geostazionaria, orbita terrestre bassa, orbita terrestre media.

I satelliti, per entrare in orbita, sono trasportati da un razzo vettore e lasciati ad un'altezza da terra superiore ai 130 chilometri.

Il primo satellite artificiale della Terra fu lo Sputnik 1, lanciato dall'Unione Sovietica il 4 ottobre 1957, che rimase in orbita per 92 giorni. Negli anni della guerra fredda la tecnologia satellitare venne sviluppata rapidamente per ragioni di ordine militare. Attualmente molti satelliti artificiali vengono usati per le telecomunicazioni e per scopi commerciali e di controllo ambientale.



Fig.12 - Il satellite artificiale Skylab

I satelliti artificiali si possono suddividere in:

- *satelliti scientifici*, destinati alla ricerca pura nel campo dell'astronomia o della geofisica, es. Telescopio Spaziale Hubble o Lageos;
- *satelliti applicativi*, destinati a scopi militari o ad usi commerciali civili.

I satelliti applicativi si possono ulteriormente suddividere in:

- satelliti per telecomunicazioni, apparecchiature costruite dall'uomo per le telecomunicazioni, es. i Satelliti COSPAS/SARSAT; spesso sono posizionati in un'orbita geostazionaria intorno alla Terra;
- satelliti meteorologici, posizionati sia in orbita geostazionaria (es. METEOSAT) sia in orbita polare (es. satelliti NOAA);
- satelliti per telerilevamento, costruiti per il telerilevamento, la cartografia e l'osservazione sistematica della superficie terrestre (es. satelliti Landsat, QuickBird, Envisat, IKONOS o RapidEye) ;
- satelliti per la navigazione, come quelli della rete GPS (Global positioning system);

- satelliti militari sia a scopo offensivo che difensivo, es. la rete di satelliti di monitoraggio nucleare Vela o l'americano Geosat;
- stazioni orbitanti, es. Stazione Spaziale Internazionale, Skylab, Mir;
- sonde spaziali in modo improprio, perché in genere le sonde non orbitano attorno ad un altro corpo.

2.3.5 I Veicoli strumentati

I veicoli strumentati nel settore stradale nascono dalle ricerche del settore civile sulla navigazione terrestre inerziale, sviluppate prevalentemente presso l'Università di Calgary (Canada) a partire dalla seconda metà degli anni '80 (e proseguite nel corso degli anni '90 con l'integrazione del GPS) dando vita ad una serie di prototipi; anche la realizzazione commerciale più significativa nel settore stradale (veicolo ARAN di Roadware Inc.) è canadese, pur non mancando esempi di veicoli rilevatori negli USA e in Europa, prevalentemente di tipo prototipale, realizzati da enti di ricerca di grandi aziende o da università. Mentre la tecnologia GPS è sostanzialmente libera, con produttori di ricevitori e di software di elaborazione dei dati diffusi in diversi paesi, quella dei sensori inerziali è tuttora in larga misura soggetta a vincoli e restrizioni per evitare un uso a scopo militare da parte di alcuni paesi terzi; in particolare i sensori per la navigazione di alta precisione (strategic-grade e navigation-grade) sono prevalentemente sviluppati negli USA da Honeywell e Litton. Quando tali sistemi vengono commercializzati come componenti di sistemi integrati (ad esempio da Applanix) vi è un obbligo contrattuale a non divulgare il certificato di calibrazione dello strumento. Vi sono anche produttori di sistemi inerziali in Francia (Sagem), Germania (iMar), con prodotti di caratteristiche adatte all'impiego nel MM. Numerose sono poi le ditte europee (Regno Unito e Germania in particolare) ma anche canadesi, statunitensi e giapponesi che integrano i due sensori producendo sistemi di navigazione GPS/INS; in tal caso il valore

aggiunto del prodotto è dato appunto dall'integrazione in termini di interfacciamento e sincronizzazione, elaborazione dei segnali, calcolo dei parametri di posizione, cinematici e di assetto con filtro di Kalman nelle sue diverse implementazioni (*loosely coupled*, *tightly coupled* ecc.). In Italia, con l'emanazione del D.L. 30 aprile 1992, n. 285, si dava inizio ad un procedimento che, negli anni successivi e attraverso la pubblicazione di norme e decreti attuativi, doveva portare ad una più razionale organizzazione e gestione delle infrastrutture stradali, anche attraverso la formazione e l'aggiornamento di un Catasto Stradale. Con il D.M. 1° giugno 2001 si specificavano le caratteristiche del Catasto e si prescrivevano le tempistiche di formazione dello stesso per le diverse categorie di strade. Sono quindi stati redatti capitoli specifici per la fornitura dei dati (rilevati o post-processati) e avviati i relativi bandi dai gestori delle strade, sia pur con modifiche e rivisitazioni rispetto al testo originario. Al momento, oltre al settore autostradale, dove l'attenzione alla problematica della manutenzione e della regolarità di esercizio attraverso anche l'impiego di veicoli rilevatori si era già formata da tempo, l'ANAS e una serie di amministrazioni provinciali hanno dato vita ad appalti per la realizzazione del catasto. Anche numerosi comuni stanno procedendo in tal senso, specie laddove la gestione dei servizi è già attuata o si appoggia a sistemi informativi territoriali.

Per quanto riguarda il sistema di posizionamento e orientamento, come detto la combinazione GPS/INS è oggi quanto di più efficiente (in termini di produttività, affidabilità e precisione) la tecnologia possa offrire; vi sono poi importanti differenze nelle modalità con cui si effettua l'integrazione tra i due sistemi GPS e INS e altrettanto importanti sono le caratteristiche hardware, soprattutto per gli INS, in ordine alle prestazioni del sistema.

Anziché appoggiarsi al GPS, è possibile impiegare altri sistemi (ad esempio sono stati usati e vengono tuttora impiegati per la navigazione apparati di radiolocalizzazione da stazioni terrestri o da satellite). In pratica tuttavia il GPS od un sistema equivalente è oggi irrinunciabile per i vantaggi in termini di

copertura e precisione. Esistono in effetti anche veicoli per il MMS che si affidano al solo GPS, con sistemi mono, bi-, o tri-antenna (da Silva, Camargo, 2003; Varini et al, 2005). Nei sistemi monoantenna l'accuratezza è assai modesta e non consentirebbe il rispetto delle precisioni di capitolato italiane: non è possibile infatti determinare alcun parametro di assetto, se non integrando il sistema con inclinometri e bussole elettroniche.

Nei sistemi a due antenne (presenti peraltro anche su sistemi dotati di INS) è possibile ricavare almeno azimuth e pitch (la disposizione tipica è infatti con le antenne distanziate sull'asse longitudinale); ovviamente vi è un errore legato all'angolo di roll, tanto più sensibile quanto maggiore è la pendenza trasversale della carreggiata. I sistemi a tre antenne, posizionate alla maggior distanza possibile sempre per migliorare la sensibilità nella determinazione degli angoli, permettono invece una soluzione completa dell'orientamento (posizione ed assetto).

La precisione di dati ottenuti utilizzando veicoli rilevatori sono piuttosto asimmetriche: infatti in senso longitudinale l'accuratezza decresce rapidamente con la distanza, perché l'angolo di intersezione tra raggi omologhi è sempre molto piccolo ed il rapporto tra base e distanza di restituzione varia entro limiti piuttosto vasti (grossomodo da 4 a 15), assai maggiori di quelli della fotogrammetria aerea. Le esigenze di precisione angolare nell'orientamento delle prese non sono invece altrettanto severe, data la scala fotogramma normalmente assai inferiore e quindi il minor rapporto tra errore angolare sul fotogramma e corrispondente errore sul terreno. Errori di 0.1-0.2 gradi centesimali in roll, pitch e azimuth provocano errori di pochi cm, date le distanze di collimazione ridotte: anche sistemi pluriantenna basati sul solo GPS quindi sono sulla carta in grado di soddisfare le richieste di capitolato (Cazzaniga et al., 2006). In ogni caso, per ottenere precisioni nel posizionamento relativo cinematico delle 2 o 3 antenne sufficienti ad ottenere i valori appena citati è molto importante la capacità di processare i dati cinematici GPS delle

antenne nel modo più efficiente possibile, sfruttando i vincoli di posizione relativa tra le antenne (Manzino, Roggero, 2006), come accennato nel punto 2.

In pratica comunque, la dipendenza continua dalla disponibilità della soluzione GPS rende questi sistemi non proponibili per un impiego realmente operativo: nella gran parte delle situazioni reali di rilievo infatti vegetazione, sovra e sottopassi, edifici, ecc. portano a frequenti “loss of lock” completi, con pesanti ripercussioni sulla continuità e qualità della soluzione GPS.

CAPITOLO 3

Piattaforme utilizzate per la procedura proposta

3.1 Generalità

L'acquisizione di dati georeferenziati, indispensabili per popolare il data base del catasto delle strade, si effettua attualmente con veicoli appositamente strumentati e/o conducendo apposite campagne di rilievi topografici. La procedura Una considerevole parte dei suddetti dati georeferenziati può essere ricavata, in modo automatico e con notevole risparmio in termini di tempo e costo, utilizzando la procedura sottodescritta. Tale procedura, del tipo “server application”, sfrutta tutte le informazioni disponibili sui diversi server posti in rete e le elabora in modo da ricavare i dati voluti. Per acquisire in modo semiautomatico alcuni dati georeferenziati da inserire nel catasto, la procedura più avanti descritta impiega immagini (aree, satellitari, ortofoto) che vengono opportunamente elaborate con i classici metodi delle analisi delle immagini. Per la procedura proposta si sono, in particolare, utilizzati i dati e le immagini satellitari disponibili su Google Earth ®/map implementando, sulla piattaforma Matlab, gli algoritmi per ricavare le informazioni volute.

3.1.1 Google Earth ®/map

Google Earth è una recente applicazione grafica tridimensionale che permette di visualizzare fotografie aeree e satellitari della Terra con un livello dettaglio molto elevato. Google inizialmente ha acquisito la società Keyhole, inc. che produceva l'omonimo programma e in seguito ha fuso il programma Keyhole con il servizio Google Maps in modo da utilizzare tutte le mappe e le informazioni utilizzate dal servizio Maps. Il software permette di visualizzare immagini satellitari acquisite ad una data indicata e, per limitazioni della licenza, mai in tempo reale. Ciò che appare sullo schermo è il risultato della fusione di milioni di fotogrammi inviati dai satelliti in orbita attorno al nostro pianeta. Tali fotogrammi sono raccolti ed organizzati dall'azienda Google che ne reclamizza la qualità. I fotogrammi inseriti nel archivio vengono aggiornati ogni qual volta Google entra in possesso d'immagini migliori.

Google Earth ® utilizza una tecnologia di streaming broad band e grafica tridimensionale, consentendo agli utenti di navigare sulla superficie terrestre e di esplorare l'intero pianeta. Sono disponibili diverse versioni:

- ✓ Google Earth – GRATUITO: è la versione standard o di base che permette di visualizzare immagini della superficie terrestre aventi una buona definizione ma non sempre aggiornate;
- ✓ Google Earth – PLUS: è uno strumento più specifico, dedicato a coloro che necessitano di mappe ancor più dettagliate e complete. Tra le funzioni particolari ha quella di poter essere connesso ad una periferica esterna, come un navigatore satellitare(GPS). Le informazioni vengono aggiornate annualmente a pagamento.
- ✓ Google Earth – PRO: è lo strumento pensato e diretto al mondo professionale (geometri, architetti, ingegneri, edili o simili), dedicato a tutti coloro che necessitano di una precisione sistematica e le cui carte devono essere assolutamente perfette e dettagliate. Può inoltre essere utilizzato per costituire sistemi, grafici e raccolte di dati.

Benché sia disponibile una versione di prova gratuita (disponibile per 7 giorni) l'uso continuo può essere consentito solo a seguito di un pagamento.

- ✓ Google Earth – ENTERPRISE: Pensato come collaboratore pratico utilizzabile dalle aziende che lavorano anche molto on-line. È una produzione ulteriormente suddivisibile in Google Earth Fusion (che si occupa dell'integrazione dei dati), Google Earth Server (trasferisce i dati integrati) e Google Earth Enterprise Client (visualizza, stampa, crea e condivide).

Le versioni più sofisticate di Google Earth consentono:

- ✓ la riproduzione 3D della superficie terrestre;
- ✓ il posizionamento di edifici ed oggetti 3D nelle zone di maggior interesse;
- ✓ di interrogare il sistema per avere informazioni realtime su determinate aree;
- ✓ la ricerca di edifici o punti di interesse in un determinata area: ristoranti, stazioni, monumenti, ecc;
- ✓ la memorizzazione di località specifiche;

Per le principali città del pianeta, il programma è in grado di mostrare immagini con una risoluzione inferiore al metro quadrato. La qualità della definizione delle immagini differisce significativamente tra le diverse zone del globo. Risulta molto elevata per le capitali dei vari Stati, per le aree ed i Paesi fortemente industrializzati; risulta, invece, piuttosto scadente per zone poco urbanizzate (vedi molte zone del centro Africa). La visione della superficie terrestre risulta talvolta sfocata, sbiadita o poco chiara in quanto la qualità delle immagini satellitari, anche se ad elevata definizione, è inficiata dalla presenza di nuvole e/o da particolari condizioni di illuminamento della superficie terrestre.

La differenza tra le zone più osservate e quelle di scarso interesse (a livello mondiale) si fa evidente, soprattutto considerando le potenzialità del 3D. Per fare un confronto tangibile è possibile, ad esempio, visualizzare l'Etna. Utilizzando la funzione "*Fly To*" (Vola A) ed inserendo il nome del noto vulcano, l'interfaccia viaggerà automaticamente sino a

raggiungere la vetta siciliana. In questo caso la particolare attenzione prestata al luogo si fa evidente, basta rendere parallelo al suolo il punto di prospettiva per vedere come la cima sia perfettamente tridimensionale a tal punto che si potrebbe avere l'impressione di poter passeggiare tra i crateri del vulcano. Un semplice confronto con zone poco distanti dalla cima dell'Etna evidenzia la notevole qualità grafica.

Esistono alcune zone "censurate", generalmente in corrispondenza d'importanti siti militari, al posto delle quali appaiono rettangoli neri più o meno lunghi.

Altra caratteristica funzionale di Google Earth è l'apertura ad un istantaneo dialogo con i propri utenti, essi possono – in qualsiasi luogo da loro scelto – inserire fotografie che vengono visualizzate dall'intera community mondiale.

Così facendo ogni luogo del globo, oltre alla già buona definizione (dell'ordine di 4800 pixel) ottenuta dalla riproduzione satellitare, sarà arricchito anche dalle fotografie inserite dagli utenti oltre che dalle presenti informazioni storiche e geografiche.

I risultati ottenibili da questa applicazione hanno un ottimo impatto visivo, come mostra l'immagine sottostante:



Fig. 1 - È possibile interagire direttamente con il sistema selezionando una strada o un edificio di particolare interesse per visualizzarne le informazioni principali.

Google Earth Pro ® oltre alle funzionalità standard di visualizzazione di scenari 3D, consente di personalizzare l'applicazione e di focalizzare le sue funzionalità sull'attività svolta dall'utilizzatore. È possibile, per esempio, integrare l'applicazione con un sistema GPS in grado di localizzare mezzi appartenenti ad una flotta ed assegnare ad ogni veicolo un preciso percorso urbano (analogamente a 3DCarto ®).



Fig. 2 - È possibile interagire direttamente con il sistema selezionando una strada o un edificio di particolare interesse per visualizzarne le informazioni principali.

Il programma non consente di visualizzare le informazioni, ma consente al singolo utente di immettere delle informazioni aggiuntive che vengono visualizzate dal programma e che possono essere condivise con un qualsiasi altro utente. Google Earth può essere utilizzato fornendogli coordinate geografiche, indirizzi o semplicemente navigando sul pianeta con il mouse. La maggior parte delle grandi città sono disponibili immagini ad alta risoluzione che consentono di distinguere la forma ed i colori degli edifici, le strade ed anche le macchine presenti. Il livello di risoluzione dipende dall'importanza del luogo infatti la maggior parte della crosta terrestre è coperta con una risoluzione di 15 metri. Google Earth si appoggia inoltre ai dati forniti dalla NASA e rilasciati nel pubblico dominio. Questi dati consentono una ricostruzione accurata della maggior parte delle catene montuose mondiali. In aggiunta il programma può sovrapporre alle immagini la ricostruzione tridimensionale dei principali edifici di molte città statunitensi. Molte persone utilizzano questo programma aggiungendovi informazioni e dati riguardanti le città o i luoghi di interesse. Inoltre, da maggio 2006, Google ha reso disponibile i dati dell'Italia, come la ricerca degli indirizzi, delle attività commerciali e dei percorsi, che fino a poco tempo fa erano abilitati solo in Inghilterra e Stati Uniti. Ad esempio se si digita "farmacie Palermo" nella casella di ricerca, il programma trova automaticamente tutte le farmacie di Palermo. Dalla versione 4.2 di agosto 2007 è possibile vedere anche il cielo che copre un luogo, con le varie stelle, galassie e costellazioni.

Una caratteristica implementata da Google nel programma dopo l'acquisizione di Keyhole è stata la possibilità di vedere la rappresentazione tridimensionale di molti edifici di 39 città statunitensi. Il database proviene da Sanborn. L'opzione si limitava a sovrapporre alle immagini dei poligoni grigi che rappresentavano la topologia degli edifici. Nelle ultime versioni è possibile vedere edifici tridimensionali anche nelle città europee di Londra, Parigi, Berlino, Roma, Genova e altre, in alcune città canadesi e in alcune città cinesi e giapponesi. Tra tutte sembrano spiccare la città italiana di Firenze e la città

tedesca di Monaco di Baviera, gli edifici del centro delle quali sono stati tutti ampiamente ricostruiti in minuziosi modelli 3D, siano essi monumenti o comuni abitazioni. I poligoni grigi delle precedenti versioni sono stati coperti da delle texture atte a rendere più realistici i modelli 3D, con un effetto decisamente migliore. Queste texture possono essere disegnate o fotografiche (in questo caso non è detto che sia stato fotografato ogni lato di ogni edificio; la stessa texture può venire utilizzata su tutti i lati e non è detto che porte e finestre corrispondano alla loro posizione reale). È possibile creare questi edifici con "**modellatore edifici 3D**" di Google. I risultati ottenibili da questa applicazione hanno un ottimo impatto visivo, come mostra l'immagine sottostante:



Fig. 3 - È possibile interagire direttamente con il sistema selezionando una strada o un edificio di particolare interesse per visualizzarne le informazioni principali.

La versione di base di Google Earth fornisce talvolta dati imprecisi. Ad esempio il Monte Everest (8.850 m) è il più alto punto individuabile su Google Earth ma, in realtà, misura 8.829 metri. La quota del mare non è sempre a 0 metri: nell'Oceano pacifico arriva a misurare -50 metri vicino a San Diego mentre a Ragusa in Croazia arriva a +200 metri. Diverse depressioni hanno un'altezza errata come per esempio la Valle della Morte. Molte fotografie sono state realizzate con angoli di inquadratura

diversi e questo porta a delle ricostruzioni non esatte. Alcune etichette sono posizionate in posti errati, a volte la distanza tra il posto reale e l'etichetta è di due chilometri. A volte (ad esempio nella zona di Firenze) le strade disegnate in sovrapposizione sono spostate di parecchie decine di metri rispetto all'immagine di sfondo. La differenza è dovuta al modello di geoide utilizzato: quest'ultimo approssima la forma della terra tramite un sistema di equazioni differenziali, solitamente armoniche sferiche, in cui poi si sceglie un riferimento. Vedere per maggiori dettagli WGS84 e EGM96. I successivi aggiornamenti dei dati provvedono a correggere via gli errori o le imprecisioni rilevate.

Google Earth ® è un'applicazione molto versatile ma presenta alcune problemi:

- ✓ la fluidità del sistema è fortemente influenzata dal tipo di connessione utilizzato, infatti, con connessione a 56 kbps i tempi di attesa divengono insostenibili;
- ✓ non tutte le aree della superficie terrestre sono visualizzabili ad alta risoluzione, infatti, per le zone non coperte dal sistema la risoluzione è minore e permette soltanto di apprezzare gli agglomerati urbani e le caratteristiche dei terreni, ma non edifici ed oggetti tridimensionali.

3.1.2 La piattaforma Matlab

Che cosa è Matlab? MATLAB è un ambiente interattivo e un linguaggio di calcolo tecnico di alto livello per lo sviluppo di algoritmi, la rappresentazione grafica dei dati, l'analisi dei dati e il calcolo numerico. Utilizzando MATLAB è possibile risolvere problemi di calcolo tecnico più rapidamente rispetto ai linguaggi di programmazione tradizionali come C, C++ e Fortran.

MATLAB può essere utilizzato in una vasta gamma di applicazioni, incluse l'elaborazione di immagini e segnali, le

comunicazioni, la progettazione di sistemi di controllo, test e misurazioni, l'analisi e la creazione di modelli finanziari e la biologia computazionale. I toolbox (raccolte di specifiche funzioni MATLAB, disponibili separatamente) ampliano l'ambiente MATLAB per risolvere particolari classi di problemi in queste aree applicative.

MATLAB offre agli utenti una serie di funzioni per documentare e condividere il proprio lavoro. Il codice MATLAB può essere integrato con altri linguaggi e applicazioni, dando così la possibilità di distribuire le applicazioni e gli algoritmi MATLAB.

Funzioni principali

Linguaggio di alto livello per il calcolo tecnico

Ambiente di sviluppo per la gestione di codice, file e dati

Strumenti interattivi per la risoluzione dei problemi, la progettazione e l'esplorazione iterative

Funzioni matematiche per l'algebra lineare, la statistica, l'analisi di Fourier, i filtraggio, l'ottimizzazione e l'integrazione numerica

Funzioni grafiche in 2D e 3D per la rappresentazione grafica dei dati

Strumenti per la creazione di interfacce grafiche personalizzate

Funzioni per integrare gli algoritmi basati su MATLAB

E' strutturato secondo il seguente schema:

- ✓ Matematica e calcolo.
- ✓ Sviluppo di procedura.
- ✓ Modellistica, simulazione e prototyping.
- ✓ Analisi di dati, esplorazione e visualizzazione.
- ✓ Disegno industriale e scientifico.
- ✓ Sviluppo di applicazione, compreso la costruzione grafica dell' interfaccia di utente.

MATLAB è un sistema interattivo in cui l'elemento di base è un array quindi non richiede il dimensioning. Ciò permette la

risoluzione di molti problemi di calcolo tecnici, in particolare quelli con le formulazioni vettoriali e matriciali, attraverso algoritmi molto più semplici e snelli rispetto a quelli che sarebbero necessari in un programma in linguaggio scalare non interattivo quali C o il fortran. Il nome MATLAB corrisponde al laboratorio della matrice. MATLAB era originalmente scritto per fornire facile accesso al software delle matrici; si è sviluppato dal LINPACK e dal EISPACK, che rappresentano insieme la punta del progresso software per il calcolo delle matrici. MATLAB si è evoluto durante gli anni con input da molti utenti. In ambienti universitari è l'attrezzo didattico standard per corsi introduttivi e corsi avanzati, nella matematica, nell'ingegneria e nella scienza. MATLAB caratterizza una famiglia delle soluzioni application-specific denominate toolboxes. Molto utile per la maggior parte degli utenti di MATLAB, toolboxes, fornisce le basi per applicare la tecnologia specializzata. I toolboxes sono collezioni complete di funzioni MATLAB (M-files) che estendono l'ambiente di MATLAB per risolvere particolari categorie di problemi. Gli ambienti in cui i toolboxes sono disponibili sono:

- ✓ elaborazione dei segnali,
- ✓ sistemi di controllo,
- ✓ reti neurali,
- ✓ logica incoerente,
- ✓ wavelets,
- ✓ simulazione e molti altri.

Programma di Calcolo Numerico e Calcolo Simbolico. Si può considerare come una calcolatrice programmabile molto potente. Programma molto popolare tra studenti, ingegneri, tecnici e ricercatori per le sue caratteristiche:

- ✓ Programma interattivo;
- ✓ Capacità Grafiche potenti e semplici;
- ✓ Possiede un gran numero di Funzioni di tutti i tipi;
- ✓ Linguaggio di programmazione di alto livello simile a Fortran, C, Pascal o Basic, per`o pi`u facile da imparare.

Esistono versioni del programma MATLAB da piccoli PC fino a supercomputers.

CAPITOLO 4

Descrizione dell'applicazione

4.1 Generalità

L'acquisizione di dati georeferenziati, indispensabili per popolare il data base del catasto delle strade (GDF), si effettua attualmente con veicoli appositamente strumentati e/o conducendo apposite campagne di rilievi topografici. Una considerevole parte dei suddetti dati georeferenziati può essere ricavata, in modo automatico e con notevole risparmio in termini di tempo e costo, utilizzando la procedura sotto descritta.

Tale procedura si articola in due diverse fasi:

fase1: acquisizione dei dati e popolazione di un data base di supporto (DBS) da utilizzare per la generazione del GDF;

fase2: gestione dei dati presenti nel DBS da parte degli utenti abilitati.

4.2 FASE 1: Acquisizione dei dati e popolazione del DBS.

La procedura presentata, del tipo “server application”, sfrutta tutte le informazioni disponibili sui diversi server in rete e le elabora in modo da ricavare i dati voluti.

Alcuni algoritmi, appositamente implementati, permettono di scaricare dalla rete i dati e le immagini relative ai collegamenti stradali presenti in una prefissata zona di interesse (Comune, Provincia, Regione, Nazione o intero globo) al fine di creare un database di supporto (DBS).

In questa fase è indispensabile un collegamento in rete con il server di Google (Earth e Map) o con altri server che mettono a disposizione dati analoghi a quelli forniti da Google. Dal server di Google possono scaricare, in particolare, le immagini delle mappe stradali senza curve di livello (**IM**) e con le curve di livello (**IML**), le fotografie (**FS**) al livello del piano stradale e le immagini satellitari (**IS**) della superficie terrestre. Tali immagini sono a colori ed hanno i seguenti formati: IM e IML : 256 x 256 x 3; FS: 512 x 512 x 3; il formato delle IS dipende, invece, dalla risoluzione dello schermo utilizzato. Si precisa che riferendosi ad una data FS si intende individuare il complesso delle foto scattate da uno stesso punto (o quasi) dalle macchine fotografiche, diversamente orientate, poste a bordo di veicoli appositamente strumentati che percorrono la strada.

Tutte le immagini utili per svolgere la procedura vengono scaricate al momento in cui servono e possono o meno essere memorizzate in un apposito data base delle immagini (DBI) associato al DBS.

Una parte della procedura più avanti descritta, consente di ottenere, per ciascuna FS, i seguenti dati :

- ✓ La denominazione della strada (Es "SS113", "A19", ecc);
- ✓ I nomi delle località attraversate;
- ✓ Le principali strade intersecate;
- ✓ Comune/Provincia/Regione/Nazione;

- ✓ Le coordinate geografiche (latitudine e longitudine) del punto da cui è scattata la foto (Datum WGS84);
- ✓ Il codice identificativo dalla foto stessa e delle eventuali foto ad essa adiacenti:

Disponendo di tali dati si possono ottenere, formulando apposite richieste, ulteriori informazioni come, ad esempio, la quota del terreno, i codici della mappa IM e le immagini satellitari (IS). Dalla elaborazione dei suddetti dati e dai risultati forniti da appositi algoritmi di analisi delle immagini digitali FS, IM ed IS si possono ricavare, oltre ai dati sopra riportati, ulteriori informazioni in merito a:

- ✓ Andamento planimetrico dell'asse della strada in esame;
- ✓ Andamento qualitativo del profilo altimetrico dell'asse e delle zone limitrofe;
- ✓ Larghezza della piattaforma, delle corsie, delle eventuali banchine, etc;
- ✓ Presenza o meno della segnaletica orizzontale e delle sue peculiarità;
- ✓ Disposizione e tipologia della segnaletica verticale (riconoscimento automatico dei segnali stradali);
- ✓ Presenza o meno dei dispositivi di ritenuta (riconoscimento automatico della tipologia e delle deformazioni significative)
- ✓ Tipologia della sezione stradale (rilevato, in trincea, su viadotto o in galleria);
- ✓ Accessi ed intersezioni;
- ✓ Difetti superficiali del manto (ove possibile).
- ✓ Tipologia delle aree di pertinenza
- ✓ Altri dati

4.2.1 Articolazione della procedura (fase 1)

Per ricavare le informazioni da inserire nel DBS sono stati implementati numerosi algoritmi alcuni dei quali sono descritti nei successivi paragrafi. In particolare, si trattano i seguenti algoritmi:

- **Algoritmo1 (Alg_1):** ricerca dei codici delle FS e caricamento dei dati ad esse associati;
- **Algoritmo 2 (Alg_2):** individuazione delle etichette delle strade presenti nelle immagini di tipo IM;
- **Algoritmo 3 (Alg_3):** individuazione grafica del tipo di strada nelle immagini di tipo IM;
- **Algoritmo4 (Alg_4):** andamento planimetrico dell'asse;
- **Algoritmo 5 (Alg_5):** individuazione analitica delle giunzioni e delle intersezioni
- **Algoritmo 6 (Alg_6):** individuazione grafica degli accessi e delle intersezioni
- **Algoritmo 7 (Alg_7):** determinazione della larghezza della carreggiata, delle corsie delle, banchine;
- **Algoritmo 8 (Alg_8):** riconoscimento automatico dei segnali stradali;
- **Algoritmo 9 (Alg_9):** popolazione del DBS e creazione del grafo;
- **Algoritmo 10 (Alg_10):** completamento/correzione dei dati del DBS;

Durante l'esecuzione di tali algoritmi ne vengono richiamati altri che assolvono le seguenti funzioni elementari:

- **ALG_A:** compone ed invia automaticamente delle richieste di tipo URL (**URL_1**) al server di google map per ricevere le risposte codificate in formato XML; la formulazione della richiesta varia in relazione alla risposta attesa;

- ALG_B: estrae dalla risposta in formato XML i dati strettamente necessari; la formalizzazione del file XML differisce in relazione alla formulazione della richiesta ed ai valori degli eventuali parametri della richiesta stessa (i dati contenuti nella risposta saranno dettagliati ove serve);
- ALG_C: ricava il codice, utilizzato da Google Map; dell'immagine in cui, per assegnato livello di zoom, è sicuramente presente un punto di coordinate geografiche assegnate; il codice dell'immagine (solitamente indicata con il termine "Tile") è composto da 2 numeri interi Tx e Ty che variano in funzione del livello di zoom scelto (in realtà, si è assunto zoom=17 che sembra, a parer dello scrivente, il migliore);
- ALG_D: compone ed invia delle richieste di tipo URL (**URL_2**) al server di Google Map, per scaricare un'immagine del tipo IM o IML; nella richiesta devono essere presenti i valori dei parametri Tx, Ty e zoom (v. ALG_C) ed un ulteriore parametro per fissare la tipologia di immagine voluta;
- ALG_E calcola le coordinate geografiche (nel Datum WGS84) di ogni pixel di IM inserendole in due matrici di dimensioni 256 x 256 x 1 (la prima matrice, contiene il valore della latitudine di ciascun pixel; la seconda, contiene il valore della longitudine del pixel);

Per gestire le immagini ed i dati di Google Earth si utilizzano, invece, le "API di Google Earth" che sono elencate in diversi siti a cui si rimanda per avere maggiori informazioni in merito alle funzioni assolate da ciascun comando API.

4.2.2 Algoritmo1: ricerca dei codici delle FS e caricamento dei dati;

Per rendere più chiara la descrizione delle funzioni assolate dai diversi algoritmi, si suppone che un Ente Gestore (o un privato) voglia conoscere i dati relativamente ad una sola delle strade di propria pertinenza, la cui denominazione è **"SS113"**. Si supponga, inoltre, che l'Ente delimiti l'ambito territoriale d'interesse alla sola Provincia di **"Palermo"**.

L'operatore, utilizzando la tastiera del computer, inserisce, nei campi di una opportuna maschera, i dati ("Palermo" e "SS113") ed infine clicca sul pulsante destro del mouse quando il puntatore del mouse è sul pulsante "CONFERMA" visualizzato nella maschera.

La procedura effettua, allora, le operazioni sotto elencate.

- 1) in base l'indirizzo immesso ("Palermo SS113") il sistema compone un'apposita richiesta URL e decodifica il file XML ottenuto come risposta da Google Map (v. ALG_A e ALG_B);
- 2) se dalla decodifica del file XML il sistema rileva che l'indirizzo inserito non esiste si procede con il passo 14; altrimenti si va al passo 3 successivo.
- 3) il sistema memorizza nella ram i dati decodificati del file XML che sono :
 - le coordinate geografiche (LatP e LonP) di un punto prossimo all'indirizzo richiesto (tale punto generalmente è circa a metà dello sviluppo della strada d'interesse) ;
 - la Nazione in cui si trova il punto (serve per la memorizzazione);
 - la Regione in cui si trova il punto (serve per di memorizzazione);
 - la Provincia in cui si trova il punto (serve per di memorizzazione);

- la denominazione della località, se esiste, in cui si trova il punto.
- 4) In funzione dei valori LatP e LonP (ottenuti al passo 3), ALG_C calcola Tx e Ty;
 - 5) I valori sopra determinati Tx e Ty, permettono di scaricare, con ALG_D, le immagini IM in cui è presente sicuramente il punto di coordinate LatP e LonP.; l'algoritmo ALG_E calcola le coordinate geografiche di ogni pixel dell'immagine;
 - 6) Si compongono richieste URL, analoghe alle precedenti, per scaricare 8 Tile aventi le seguenti coppie di codici: (Tx-1, Ty-1), (Tx-1, Ty), (Tx-1, Ty+1), (Tx, Ty-1), (Tx, Ty+1), (Tx+1, Ty-1), (Tx+1, Ty), (Tx+1, Ty+1); gli algoritmi ALG_D ed ALG_E, analogamente al passo 5, scaricano i Tile voluti e calcolano le coordinate geografiche;
 - 7) Le nove immagini (1 centrale e 8 adiacenti) sono riunite in una unica immagine (v. Fig. 1 di formato 768 x 768 x 3); le coordinate geografiche (nel Datum WGS84) dei nove tile caricati vengono riunite in due matrici di dimensioni (768 x 768);

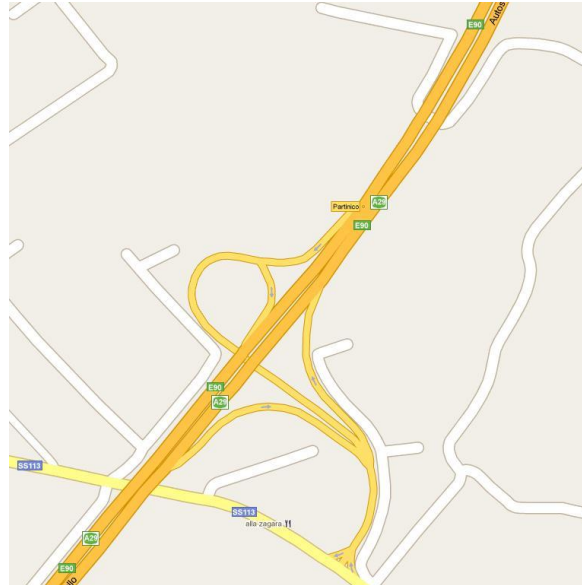


Fig. 1: Immagine composta (scaricata da Google Map)

- 8) L'algoritmo Alg_2, descritto nel paragrafo successivo, individua le "etichette" delle strade presenti nell'immagine e determina le coordinate geografiche **approssimate** del centro delle n etichette trovate: $[(Latc_1, Lonc_1), (Latc_2, Lonc_2), \dots, (Latc_n, Lonc_n)]$; l'algoritmo Alg_3 distingue i diversi tipi di strada in base alla intensità cromatica che le caratterizza nell'immagine;
- 9) Per ciascuno degli indirizzi $(Latc_i, Lonc_i)$ con $i=1, \dots, n$, il sistema compone una richiesta URL, decodifica il file XML di risposta di google map e memorizza i dati decodificati. Per un generico punto i di coordinate $Latc_i$ e $Lonc_i$ compreso tra gli indirizzi trovati, il file XML di risposta contiene:
- Il codice della fotografia panoramica (FS) scattata in prossimità di ciascuno punto di coordinate $Latc_i, Lonc_i$; tale codice, composto da 22 caratteri alfanumerici, è indicato sinteticamente con FOTO1_i;

- Le coordinate geografiche esatte (indicate con Latce_i e Lonc_e_i) del punto da cui è scattata la foto di codice FOTO1_i (il punto di coordinate Latce_i e Lonc_e_i è generalmente su strada). La google provvede, infatti, ad associare a ciascuna foto, scattata dal sistema di acquisizione di immagini posto a bordo di un veicolo che percorre la strada, le coordinate geografiche (nel Datum WGS84); qualora tale circostanza non fosse verificata (il punto di scatto non è sulla strada), la procedura rileva tale circostanza in quanto la denominazione del luogo manca o non è quello caratteristico di una strada extraurbana;
 - La Nazione in cui si trova il punto (Latce_i e Lonc_e_i);
 - Regione in cui si trova il punto (Latce_i e Lonc_e_i);
 - Provincia in cui si trova il punto (Latce_i e Lonc_e_i);
 - Località, se esiste, in cui si trova il punto (Latce_i e Lonc_e_i).
 - La denominazione del luogo (solitamente é la denominazione della strada);
 - I codici di k fotografie panoramiche (FOTOs1_i, FOTOs2_i... FOTOsk_i) scattate dai punti adiacenti a quello da cui è stata scattata la FOTO1_i;
 - Per ciascuna delle k foto (FOTOs1_i, FOTOs2_i, ..., FOTOsk_i), il file XML restituisce, se essa è stata scattata in corrispondenza di una strada, anche la denominazione della strada; si precisa che, per queste foto, nel file XML non sono riportate le coordinate geografiche del punto da cui sono state scattate
- 10) La procedura inserisce progressivamente in una matrice EC i codici, evitando le possibili duplicazioni, delle foto panoramiche i cui dati siano congruenti con la richiesta iniziale; (la denominazione della strada e localizzazione

amministrativa devono essere coincidenti con quelle inizialmente inserite: “Palermo”, “SS113”); per ogni codice di foto del tipo FOTO1_i che risulta congruente, nella seconda e nella terza colonna della matrice EC vengono inserite le coordinate Latce_i e Lonce_i;_pone, invece, a 0 le coordinate delle foto congruenti il cui codice è del tipo FOTOs1_i; i codici delle foto non congruenti per le quali esiste una denominazione diversa da quella cercata ma riconducibile a strade di una certa importanza (SS, SP, SR, Autostrada) vengono memorizzate in un matrice EC1 (v. schema successivo); tale matrice serve stabilire l'esistenza di giunzioni e/o intersezioni della strada d'interesse con altre strade di una certa importanza;

INIZIO DEL PROCESSO ITERATIVO

- 11) Se nell'elenco EC sono presenti foto con coordinate nulle si esegue il passo 13; altrimenti, si va al passo 12;
- 12) Si effettua una verifica tesa a stabilire se, per la strada in esame, non esistano, altre foto FS utili. Si è infatti, notato che in alcuni casi nel file XLM non vengono riportati, anche se esistono, i codici delle foto adiacenti a quella in esame e quindi l'algoritmo terminerebbe impropriamente la propria operatività. Dopo un ordinamento dei dati completi di EC si determinato punti estremi (inizio e fine) del tratto già trovato Indicando con LatI, LonI e LatF, LonF le coordinate geografiche dei punti di estremità, un'apposita subroutine ripete sostanzialmente i passi da 4 a 10 assumendo come punto iniziale quello avente queste nuove coordinate. Un ulteriore subroutine, utilizzando Alg_2 e Alg_3, per immagini della mappa relative ai suddetti punti di estremità, verifica anche graficamente che la strada in esame non continui oltre i punti di estremità già trovati. Se non si rinvencono altre FS si prosegue con il passo 15;

altrimenti, si torna al passo 11, dopo avere aggiornato la matrice EC;

- 13) Per ciascuna foto avente coordinate nulle, il sistema genera, in base al codice della foto stessa, una richiesta URL e decodifica il file XML di risposta che contiene informazioni perfettamente analoghe a quelle riportate al passo 9;
- 14) Con lo stesso criterio indicato al passo 10 si aggiornano gli elenchi EC ed EC1 e si ritorna al passo 11;

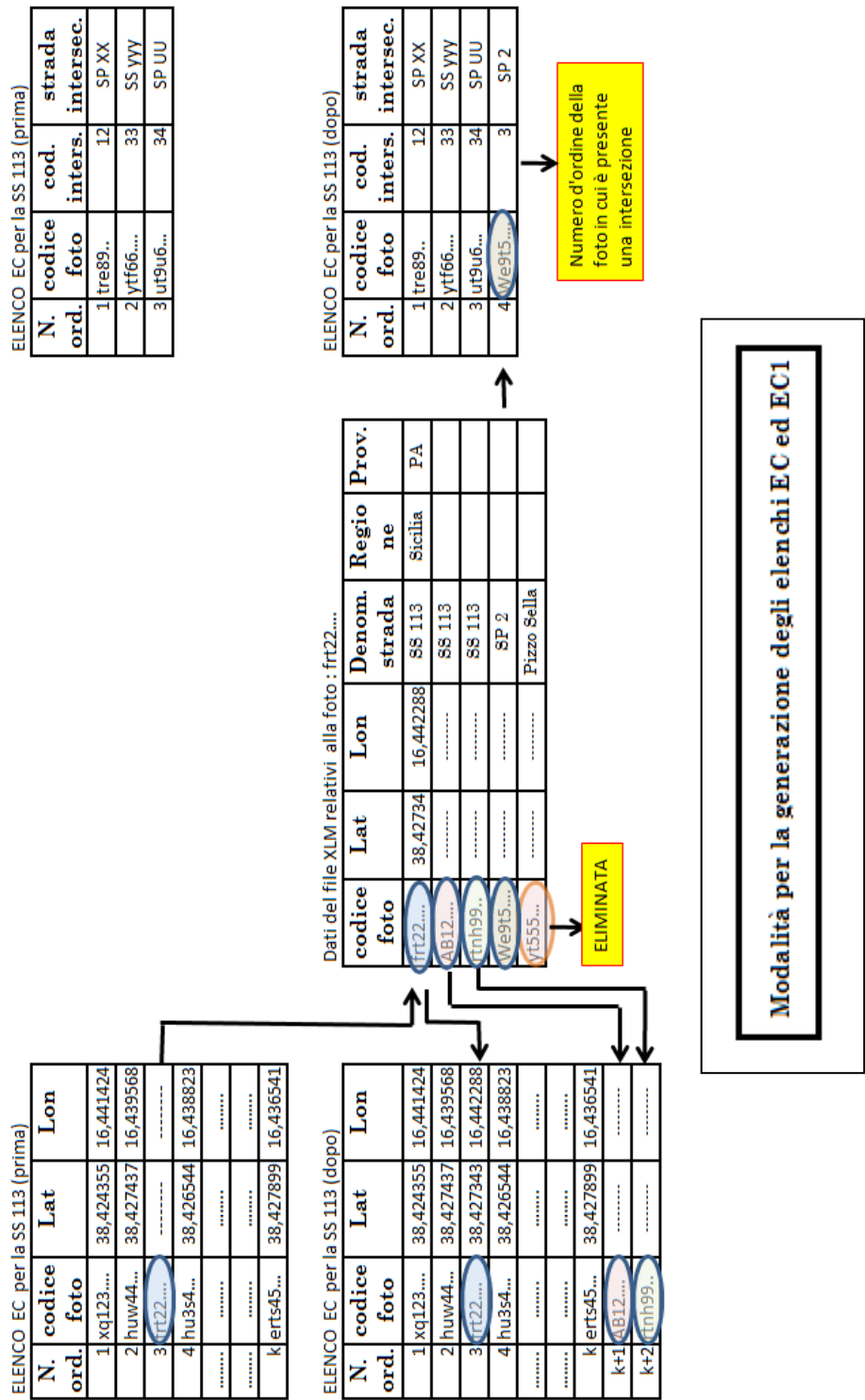
FINE PROCESSO ITERATIVO

- 15) Nella stessa maschera di partenza viene riportato il numero NCF dei codici delle foto presenti in EC; se $NCF > 0$, si va al passo 16 successivo; se $NCF = 0$ il pulsante "CONFERMA" viene sostituito dal pulsante "PROCEDI" cliccando sul quale la procedura va al passo 17;
- 16) Il pulsante "CONFERMA" viene sostituito da due pulsanti "MEMORIZZA" "NON MEMORIZZARE". Se l'operatore clicca sul pulsante "NON MEMORIZZARE" il sistema va al passo 17; se clicca, invece, sul pulsante "MEMORIZZA", in base ai dati ottenuti al passo 3, il sistema provvede a memorizzare in un file dal nome : "c:/ITALIA/SICILIA/PALERMO/SP113/??????/ECT.txt", dove con "?????" si indica la data di elaborazione nel formato "gg\mm\aa", i dati criptati dell'elenco EC; i dati della matrice EC1 sono memorizzati in un file dal nome : "c:/ITALIA/SICILIA/PALERMO/SP113/??????/ECT1.txt";

17) FINE PROCEDURA

In definitiva, per la strada scelta, l'algoritmo sopra descritto genera e memorizza due elenchi (o matrici) EC EC1. I dati della matrice EC sono indispensabili per ricavare l'andamento planimetrico della strada; i dati della matrice EC1, invece, servono per la individuazione delle giunzioni e/o intersezioni.

Lo schema sotto riportato descrive le modalità con cui si aggiornano i dati di EC ed EC1 ad un generico passo del processo iterativo. In tale schema sono, infatti, riportati i dati presenti nelle suddette matrici all'inizio ed alla fine di una singola iterazione. Per una foto con dati incompleti in EC (ad es. quella avente numero d'ordine 3) si decodifica il relativo file XLM relativo ad una richiesta URL contenente il codice della foto. In base ai dati contenuti nel file XLM, si completano i dati della foto caricata. Inoltre, i codici delle foto in XLM che sono congruenti con la richiesta e che non sono già presenti nell'elenco EC, si inseriscono in tale elenco. (v. riga $k+1$ della matrice EC). I codici delle foto in XLM non coerenti con la richiesta iniziale ma che sono presumibilmente relativi ad una strada sono inseriti nella matrice EC1. Nella seconda e terza colonna della matrice EC1 sono riportati rispettivamente il numero d'ordine della foto (3) e la denominazione della strada intersecata (SS 2). I codici delle foto in XLM che non hanno i suddetti requisiti vengono scartati.



La Fig 2 mostra l'immagine satellitare (IS) di una porzione della
una SS 113. In essa si distinguono:

- la zona 1 che corrisponde alla mappa riportata in Fig, 1;
- le crocette blu che individuano i punti determinati dall'algoritmo 1.

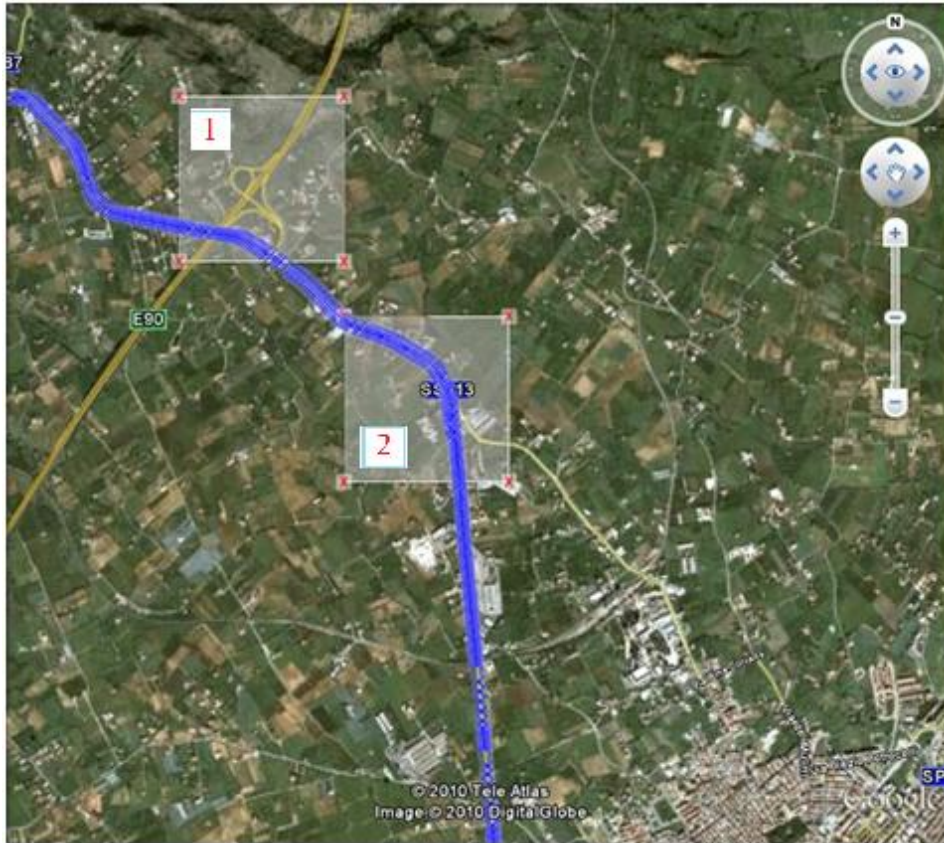


Fig. 2: Immagine satellitare con i punti determinati con Alg_1.

4.2.3 Algoritmo2: determinazione grafica delle etichette.

Al passo 7 di Alg_1 si è generata una immagine della mappa (V. Fig. 1), avente un formato (768 x 768 x 3), ottenuta riunendo in modo opportuno 9 diversi Tile. In tale tipo di immagine sono visibili, in corrispondenza delle diverse strade, alcune “etichette” (cerchiate in V. Fig. 3) al cui interno è riportata la denominazione della strada stessa. Tali etichette hanno forma e colore differente in relazione alla tipologia della strada a cui sono associate.

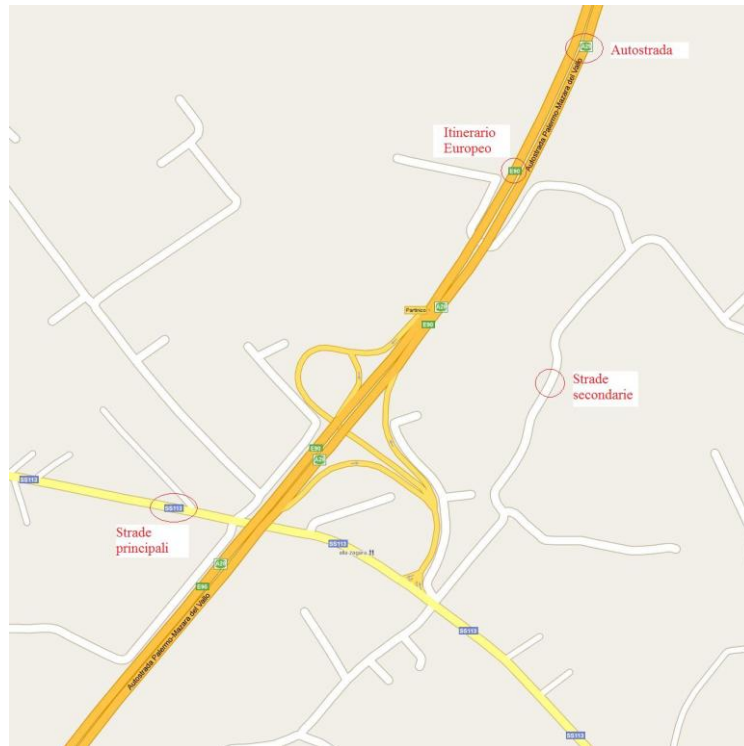


Fig.3: - Img1_map_mod.jpg

In particolare:

- 1) per le SS, SR e SP, le etichette hanno una forma rettangolare; sono blu contornati da un blu più scuro ed una scritta interna bianca;
- 2) per le autostrade, le etichette hanno una forma quasi quadrata; sono verdi e bianco con un profilo verde e riportano una scritta interna bianca;
- 3) per le strade comprese negli itinerari europei, le etichette hanno una forma rettangolare; sono verdi con una scritta interna bianca.

L'intensità cromatica delle strade presenti nell'immagine è, invece, differente in relazione al tipo di strada e/o alla amministrazione da cui dipende. In particolare:

- le strade secondarie sono di colore bianco o quasi;
- le SS, SR e SP sono gialle o quasi;
- le Autostrade hanno un colore di colore arancio chiaro;
- i raccordi autostradali sono di colore arancio scuro.

Per ciascun "colore" di interesse si possono preliminarmente e con molta accuratezza determinare, per ciascuno dei tre piani cromatici (RGB), i limiti entro cui possono variare le intensità dei pixel dell'immagine relativamente al colore cercato.

Ad esempio, volendo individuare i pixel di colore il "blu scuro", si indicano con:

Vr1i e Vr1s, i limiti inferiore e superiore del piano cromatico dei rossi;

Vg1i e Vg2s, i limiti inferiore e superiore del piano cromatico dei verdi;

Vb1i e Vb1s, i limiti inferiore e superiore del piano cromatico dei blu.

Indicando con r g e b l'intensità cromatica nei tre piani RGB di un generico pixel dell'immagine si valutano le tre successive disequazioni:

$$Vr1i \leq r \leq Vr1s \quad e \quad Vg1i \leq g \leq Vg1s \quad e \quad Vb1i \leq b \leq Vb1s,$$

Se esse vengono verificate contemporaneamente il pixel ha le caratteristiche desiderate (è sicuramente “blu scuro”).

Tale procedura si può adottare per tutte le possibili gradazioni di colore che caratterizzano gli oggetti presenti nell'immagine.

I passi essenziali dell'algoritmo sono:

- 1) Si fissano sia i limiti $Vr1i$, $Vr1s$, $Vg1i$, $Vg1s$, $Vb1i$, $Vb1s$ corrispondenti al blu scuro che delimita le etichette, sia limiti $Vr2i$, $Vr2s$, $Vg2i$, $Vg2s$, $Vb2i$, $Vb2s$ corrispondenti al blu leggermente più chiaro che caratterizza l'interno delle etichette (i limiti sono stati preliminarmente definiti):
- 2) Si individua l'insieme ($A1$) dei pixel per i quali valgono contemporaneamente le disequazioni $Vr1i \leq r \leq Vr1s$, $Vg1i \leq g \leq Vg1s$, $Vb1i \leq b \leq Vb1s$; l'insieme $A1$ non è altro un'immagine binaria, delle stesse dimensioni di quella originaria ($768 \times 768 \times 1$) su un solo piano cromatico, in cui sono bianchi solo i pixel che soddisfano le suddette disequazioni;
- 3) Si individua l'insieme ($A2$) di tutti i pixel per i quali valgono contemporaneamente le disequazioni $Vr2i \leq r \leq Vr2s$, $Vg2i \leq g \leq Vg2s$, $Vb2i \leq b \leq Vb2s$ (blu più chiaro);
- 4) Si riuniscono gli insiemi $A1$ e $A2$ in un unico insieme $A3$.
- 5) Si elimina dall'insieme $A3$ (ovvero dall'immagine binaria) i punti isolati sulla base dei risultati di una convoluzione tra l'immagine stessa ed un apposito kernel. Si assume un kernel 3×3 contenente solo valori pari ad 1 e si fa coincidere il centro del kernel con un qualsiasi pixel di un'immagine binaria (contenente quindi solo 0 e 1). Si ottiene, in questo caso specifico, la somma delle intensità dei pixel coperti dal kernel. Ad esempio; se un pixel è isolato il risultato della somma è 1. La convoluzione calcola tali somme per tutti i pixel dell'immagine. Modificando le dimensioni ed il contenuto del kernel o “trasformando” le

intensità dei pixel dell'immagine originale per ottenere diverse informazioni in merito alle peculiarità delle immagini);

- 6) Si effettuano sull'insieme risultante A3 operazioni morfologiche di apertura e chiusura (operazioni classiche delle analisi delle immagini) finalizzate ad ottenere in A3 delle regioni chiuse e connesse. Si eliminano, tenendo conto anche della forma rettangolare dell'oggetto, con una apposita maschera morfologica, i pixel non corretti esterni alle regioni chiuse e connesse (si utilizza sempre un kernel);
- 7) Si riempiono gli eventuali "buchi" interni alle regioni chiuse e connesse presenti in ciascun oggetto (i buchi sono corrispondenti alle scritte bianche interne alle etichette) (utilizza sempre un kernel); l'immagine che si ottiene è riprodotta in Fig. 4:
- 8) Si individuano le posizione, in termini di pixel, dei centri delle n1 zone dell'immagine chiuse e connesse.
- 9) Per i centri delle n1 etichette trovate, conoscendo le coordinate geografiche associate ad ogni pixel dell'immagine, si ricavano le coordinate geografiche dei suddetti centri: [(Latc_1, Lonc_1), (Latc_2, Lonc_2),.... (Latc_n1, Lonc_n1)];
- 10) Si ripetono passi quasi identici a quelli sopra esposti, relativamente alle "etichette" verdi associate alle autostrade ed agli itinerari europei, ottenendo la Fig. 5. Indicando con n2 il numero di etichette di questo tipo trovate si calcolano [(Latc_n1+1, Lonc_n1+1), ,.... (Latc_n1+n2, Lonc_n1+n2)]
- 11) Si assume $n=n1+n2$.
- 12) Fine procedura.

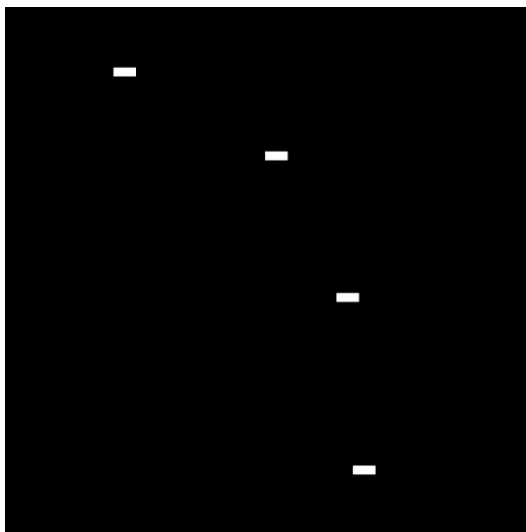


Fig.4: - Risultato della ricerca delle etichette (blu).

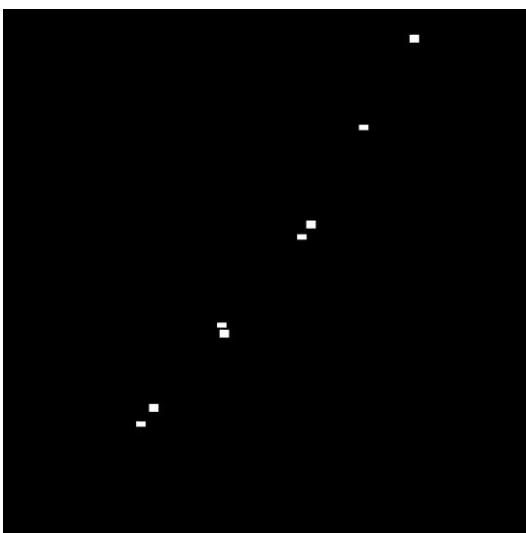


Fig.5: - Risultato della ricerca delle etichette (verdi).

4.2.4 Algoritmo 3: individuazione grafica del tipo di strada

In base a quanto già detto in merito alle intensità cromatiche delle strade rappresentate sul tipo di immagini di Fig. 1, una routine analoga a quella precedente permette di distinguere, avendo fissato i limiti delle intensità cromatiche da cercare, i diversi tipi di strade presenti nell'immagine scaricata da Google Map.

A valle della segmentazione per colore dell'immagine di Fig. 1, si genera una immagine a colori (768 x 768 x 3) in cui ai pixel si assegnano i seguenti colori:

- grigio (in RGB: 0.5, 0.5, 0.5): strade secondarie di colore bianco o quasi nell'immagine originale;
- giallo (in RGB: 1, 1, 0); strade appartenenti alla categorie SS, SR e SP di giallo o quasi nell'immagine originale assegna il colore
- Rosso (in RGB: 1, 0, 0); Autostrade di colore arancio chiaro o quasi nell'immagine originale;
- Rosso scuro (in RGB: 0.5, 0, 0); raccordi autostradali di colore arancio scuro chiaro o quasi nell'immagine originale;

Nelle Figg 6 e 7 sono visualizzati, per due diversi tratti di strada, le immagini generate dalla procedura al termine di Alg_2 e Alg_3.



Fig.6: - Risultato della segmentazione



Fig.7: - Risultato della segmentazione

4.2.5 Routine di gestione degli algoritmi 4-10

L'operatore, utilizzando la tastiera del computer, inserisce, nei campi di una opportuna maschera, i dati ("Palermo" e "SS113") ed infine clicca sul pulsante destro del mouse quando il puntatore del mouse è sul pulsante "ELABORA" visualizzato nella maschera, il sistema effettua le operazioni sotto elencate.

- 1) In base l'indirizzo scelto ("Palermo SS113") la procedura determina il numero NF di cartelle, presenti sul server, dal nome: "c:/ITALIA/SICILIA/PALERMO/SS113/";
- 2) Se NF =0 si procede con il passo 11.
Se NF=1 legge i dati contenuti nell'unico file disponibile "c:/ITALIA/SICILIA/PALERMO/SP113/??????/ECT.txt", li decodifica e li inserisce ordinatamente in una matrice EC di dimensioni NCF x 3, dove NCF il numero dei codici delle immagini presenti; nella prima colonna della matrice pone i codici delle foto, nella seconda e nella terza pone rispettivamente la latitudine e longitudine da cui è stata scattata la foto;. Infine procede con il passo 3,
Se NF>1 sceglie, in base alla data ("??????"), il file più recente da utilizzare e compie le stesse operazioni sopra dettagliate e va al passo 3;
- 3) Assume i=1.
- 4) Pone CF= EC(i,2), LatP=EC(i,2), LonP=EC(i,3);
- 5) Esegue i passi da 4 a 7 di Alg_1 componendo un immagine composita (V. Fig:1), avente un formato (768 x 768 x 3 pixel) con associate le due matrici (768 x 768) di longitudine e latitudine;
- 6) In funzione di LatP e LonP e per fissati valori dell'altezza ed inclinazione della camera posta sul satellite e di altri

- parametri anche essi fissati, utilizzando le “API di Google Earth” scarica dalla rete l’immagine satellitare dell’ambito territoriale intorno al punto di LatP e LonP;
- 7) Esegue in successione algoritmi (da 4 a 10) per ricavare le informazioni da inserire nel DBS;
 - 8) Inserisce le informazioni ricavate al passo precedente in apposite tabelle, associate con l’indice i del codice della foto panoramica; memorizza in un file dal nome: “c:/ITALIA/SICILIA/PALERMO/SP113/??????/ETxxxxyy.txt” (dove: $xxxx$ è l’indice i della foto da “0001 a “9999” ed “yy” è il numero della tabella (da “01” a “24” in base a quanto precisato nel paragrafo 4.5.5.6);
 - 9) incrementa di una unità i (pone $i=i+1$);
 - 10) Se $i > NCF$ la procedura si sposta al passo 11; se $i \leq NCF$ si reitera la procedura a partire da passo 4;
 - 11) Fine procedura

4.2.5.1 Algoritmo 4: andamento planimetrico dell’asse.

La matrice EC relativa alla SP113 contiene le coordinate geografiche (Lat e Lon) dei punti da cui sono state scattate le foto (V. Fig. 2). Tali coordinate sono relative alla mezzzeria della corsia di avanzamento del veicolo.

Le foto sono scattate ad intervalli regolari. Si dispone generalmente di una foto ogni 30-50 m (variabile in funzione della velocità di avanzamento del veicolo).

Un interpolazione lineare o di ordine superiore dei punti trovati permette di tracciare l’andamento planimetrico dell’asse della corsia. Un scostamento pari a metà della semicorsia in direzione perpendicolare all’asse stradale locale permette di stimare con

una buona precisione ogni punto dell'asse stradale. Il risultato finale si ottiene in base a semplici considerazioni geometriche ed alcune note espressioni di matematica.

4.2.5.2 Algoritmo 5: individuazione delle giunzioni

Secondo quanto riportato nel DMLLPP, una giunzione rappresenta di norma il punto di intersezione degli assi di due elementi stradali ovvero il punto nel quale convergono due o più elementi stradali o il punto in cui un elemento stradale si connette ad un'area di traffico o ad un'altra modalità di trasporto. Una giunzione è sempre un'entità puntuale (nodo), rappresentata in termini geometrici da una terna di coordinate anche se, per quanto affermato nel DMLLPP *“perfino un incrocio tra strade (che può superare il chilometro quadrato) può essere considerato come una intersezione”*. Se la rappresentazione in un grafo di una intersezione anche piuttosto complessa (svincoli a più livelli, intersezioni ravvicinate) risulta abbastanza agevole (in relazione anche al livello del GDF, l'esatta determinazione dell'andamento piano altimetrico richiederebbe accurati rilievi topografici in situ che, in base alla interpretazione, più o meno restrittiva, della Norma, devono o meno essere effettuati.

Le giunzioni presenti sulla una qualsiasi strada sono ricavabili direttamente dalla matrice EC1 associata alla strada stessa. Bisogna, però, precisare che non tutte le intersezioni effettivamente presenti sulla strada sono nell'elenco EC1 a causa delle incompletezza ovvero delle peculiarità dell'architettura del data base presente sul server di Google.

La fase di determinazione grafica degli accessi Alg_6 può servire a colmare tali lacune in quanto determina gli incroci con altre strade siano esse ad uso pubblico (e quindi intersezioni) siano private (e quindi accessi veri e propri).

4.2.5.3 Algoritmo 6: Individuazione grafica degli accessi.

L'algoritmo riconosce, a partire dalle immagini del tipo IM e IS le aree in cui, su una strada principale, si immettono veicoli provenienti da un'altra strada principale, secondaria, privata, da scivoli da aree di traffico.

Le operazioni effettuate sulle immagini IM sono le seguenti.

- 1) Il sistema dispone di una immagine del tipo riportato in Fig. 5 o 6 generata con Alg_3:
- 2) Si considerano i punti delle strade secondarie (pixel grigi: in RGB: 0.5, 0.5, 0.5), ponendo a zero le intensità dei pixel "non grigi" ottenendo un'immagine binaria K':
- 3) Si calcola la minima distanza, in termini di pixel, di ogni pixel di K' dai pixel "grigi" (bianchi nell'immagine binaria);
- 4) Si genera una immagine binaria K" in cui l'intensità è uguale ad 1 solo per i pixel che hanno contemporaneamente una distanza minore di un valore prefissato (si è scelto 5) e che sono gialli (RGB: 1, 1, 0) in K'; si ottengono piccole regioni chiuse e connesse;
- 5) Nell'immagine K" si riportano punti Z ottenuti al termine di Alg_1 (sono punti in corrispondenza delle foto panoramiche e sulla strada d'interesse);
- 6) si calcolano le minime distanze tra i punti Z ed i centri delle regioni chiuse e connesse;

- 7) si assumono come zone in cui è presente un “accesso” solo le regioni i cui centri hanno distanze dai punti Z inferiori ad una distanza prefissata (si assume 10)
- 8) Si calcola la minima distanza, in termini di pixel, di ogni pixel dai pixel delle regioni trovate al passo precedente;
- 9) Si rigenera l'immagine binaria K” in cui l'intensità è uguale ad 1 solo per i pixel che hanno contemporaneamente una minima distanza eguale ad 1 e che sono gialli (RGB: 1, 1, 0) in K; si ottengono piccole regioni chiuse e connesse (ovvero si ottengono i punti di contatto grigio-giallo);
- 10) Le coordinate dei centri, espressi in termini di pixel, di tali zone vengono trasformate in coordinate geografiche e vengono memorizzate;
- 11) Dall'immagine K generata al passo 2 si eliminano le strade che non hanno accesso sulla strada d'interesse;
- 12) Si erodono progressivamente, utilizzando una apposita maschera, i pixel dell'immagine per individuare l'asse della strada;
- 13) Si considerano 15 punti dell'asse più vicini all'accesso;
- 14) Si trova, con il metodo dei minimi quadrati, il coseno direttore della retta interpolante;
- 15) Si calcola in base a due punti Z più vicini all'accesso la direzione locale dell'asse della strada di interesse;
- 16) Si deduce e si memorizza l'angolo di deviazione tra la strada d'interesse e la strada secondaria;
- 17) Fine della procedura

Si ricorda che si conoscono le coordinate geografiche dei punti da cui sono state scattate le FS. Apposite istruzioni permettono di scaricare le immagini satellitari della zona intorno ad uno dei suddetti punti. Disponendo di tale immagine si opera nel seguente modo:

- 1) Si crea un campione delle intensità dei pixel intorno al punto considerato;

- 2) Si segmenta l'immagine in base a prefissate modalità che prendono in esame le caratteristiche colorimetriche delle diverse areole dell'intera immagine (l'estensione di tali areole deriva dalla geometria della strada da esaminare ovvero dalla lunghezza, in termini di pixel, della traccia della sezione);
- 3) Si definisce, a partire da un punto sicuramente appartenente alla pavimentazione della corsia (della carreggiata) e tenuto conto della indispensabile contiguità spaziale dei pixel della pavimentazione stessa, della zona avente prefissate caratteristiche;
- 4) Si effettua una previsione dell'andamento locale dell'asse stradale nella zona individuata in base al quale scegliere, nell'ambito di tale zona, un nuovo punto sicuramente appartenente alla pavimentazione. Si possono verificare i seguenti casi:
 - il punto esiste; si reitera la procedura a partire dal passo 3 se il punto è lontano dai margini dell'immagine ovvero si considerano le coordinate dei punti in EC non presenti nell'immagine ma ad essa adiacenti e si procede con il passo 1;
 - il punto non esiste; tale eventualità si registra in presenza di occlusioni, più o meno estese, della strada (presenza di veicoli sulla strada, chiome di alberi, edifici, pali per l'illuminazione, cartelloni, ed anche delle ombre dei suddetti elementi). Sulla base delle informazioni già acquisite si cerca un nuovo pixel le cui coordinate siano congruenti con la successione degli andamenti locali dell'asse e dell'andamento globale e le cui caratteristiche, in termini colorimetrici e spaziali, siano quelle fissate al passo 2. Si possono verificare i seguenti sottocasi:
 - ♦ il punto esiste; si reitera la procedura a partire dal passo 3; se il punto è lontano dai margini dell'immagine ovvero si termina la procedura se il punto è prossimo ai margini;

- ◆ il punto non esiste; l'occlusione è talmente estesa che talvolta è necessario considerare le coordinate dei punti in EC non presenti nell'immagine ma ad essa adiacenti e si ritorna al passo 1.

Le due procedure sopra descritte per la determinazione degli accessi lavorano sinergicamente in quanto sono condotte in parallelo e si scambiano le informazioni via via trovate. Le informazioni in merito alla posizione delle strada nel territorio servono anche per controllare l'andamento planimetrico già determinato.

4.2.5.4 Algoritmo 7 : Determinazione della larghezza della carreggiata, delle corsie delle, banchine;

Nelle immagini scattate dalle apparecchiature a bordo del veicolo, i cigli della strada, le strisce di delimitazione delle banchine o delle corsie, le eventuali barriere di sicurezza sono, sono rappresentati, in rettifilo, da segmenti quasi rettilinei convergenti. L'andamento di tali elementi, permette di ottenere, in base ad una preliminare determinazione della metrica dell'immagine prospettica, una stima della distanza reale tra alcuni di tali elementi (ad es. la distanza tra i cigli, tra le strisce di delimitazione delle corsie,...). Quanto detto, vale anche per tratti di strade in curva anche se insorgono ulteriori ma superabili difficoltà nella stima delle distanze.

Conoscendo il codice della foto e le relative coordinate geografiche, si scaricano agevolmente le seguenti immagini:

- **Foto2_dir1.jpg**: scattata da un dato punto nella stessa direzione di avanzamento del veicolo (Fig, 8);
- **Foto2_dir2.jpg**: scattate dallo stesso punto nella direzione opposta a quella di avanzamento (Fig, 9);

- **Img2_map_loc.jpg**: immagine prelevata da Google Map (Fig, 10); in questa immagine è evidenziato in rosso il punto da cui è stata scattata la foto;
- **Img2_ear_loc.jpg**: immagine scaricata da Google Earth (Fig, 11); anche in questa immagine è evidenziato il punto da cui è stata scattata la foto;;



Fig.7: - Foto2_dir1.jpg



Fig.8: - Foto2_dir2.jpg

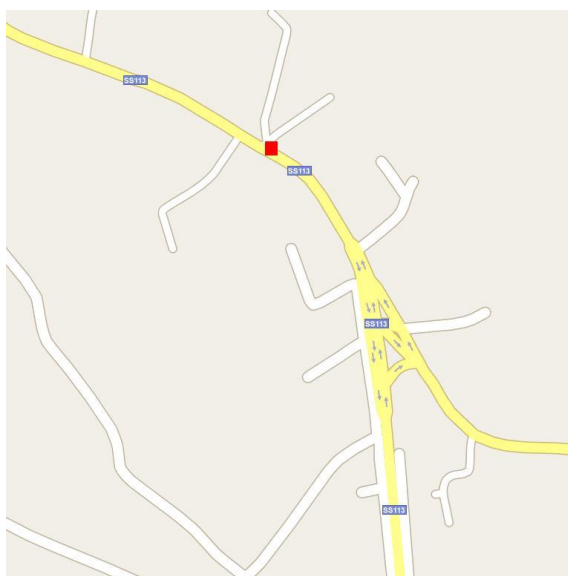


Fig.9: - Img2_map_loc.jpg

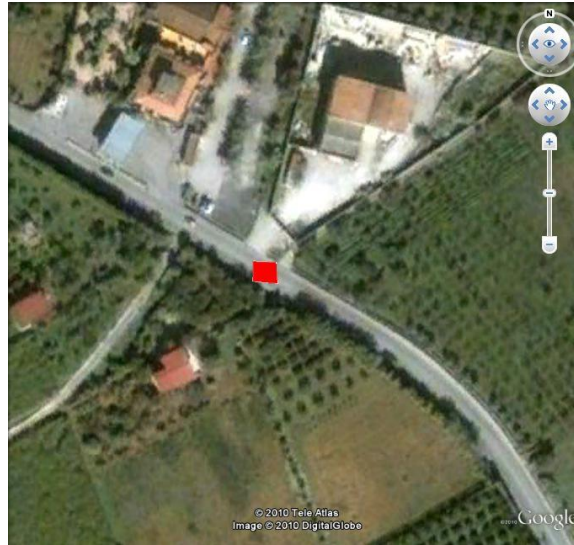


Fig.10: - Img2_ear_loc.jpg

I passi elementari che costituiscono l'algoritmo sono:

- 1) Il sistema pone $i=1$
- 2) Preleva dalla matrice EC il codice della foto $F=Ec(i,1)$, e le relative coordinate $Lat=Ec(i,2)$ e $Lon=Ec(i,3)$;
- 3) In base al codice F della foto, la procedura compone una richiesta URL idonea per scaricare, da Google Map e sotto in forma matriciale, una immagine (a colori ed avente un formato fisso $512 \times 512 \times 3$ pixel). Nella richiesta, si inserisce un valore del parametro tale che determinare l'inclinazione dell'asse focale dell'apparecchiatura fotografica rispetto alla direzione di avanzamento del veicolo (**V. Foto2_dir1.jpg e Foto2_dir2.jpg**);
- 4) Per ciascuna di tali foto, si individuano, con l'algoritmo di Canny, i contorni degli oggetti presenti. Si varia, con un passo costante, il valore di uno dei parametri che regolano l'intensità del gradiente al fine di distinguere i contorni più marcati da quelli meno marcati. Si ottengono 10 contorni ($C1, \dots, C10$) tra i quali si sceglie il migliore, correggendolo con il contenuto informativo delle altre 9 immagini ottenute.

Nelle Figg. 11 e 12 (**Canny2_dir1.jpg** e **Canny2_dir2.jpg**) sono riportate le immagini dei contorni ottenuti con Canny rispettivamente le immagini di Figg. 7 e 8;

- 5) Si eseguono una serie operazioni morfologiche sulle immagini binarie di Figg. 11 e 12 e delle opportune segmentazioni sulle immagini di Figg. 7, 8, 9 e 10 in modo da isolare, quanto più correttamente possibile, le linee di confine della carreggiata e l'andamento della strada nei punti immediatamente precedenti e successivi a quello in cui si trova il veicolo; l'operazione risulta abbastanza agevole qualora siano ben distinguibili le linee di demarcazione dei franchi laterali; in assenza di tali linee o di un loro mascheramento la stima della larghezza risulta poco affidabile;
- 6) Dall'andamento delle linee trovate e della loro distanza (misurata puntualmente ed in direzione ortogonale all'asse), tenendo conto delle distorsioni prospettiche e del fatto che il tratto di strada visibile è in rettilineo o in curva (deducibile dalle immagini nelle Figg. 9 e 10) si ricava una stima della larghezza della carreggiata;
- 7) Se le banchine sono delimitate da segnaletica orizzontale o sono realizzate con materiale diverso da quello delle corsie (il cambiamento del materiale impiegato può essere stabilito solo in presenza di una apprezzabile difformità colorimetrica) è possibile ottenere una stima di tale grandezza; in caso contrario, a partire dalla larghezza stimata della carreggiata, dalla classificazione delle strade e dai dati relativi ad altre sezioni esaminate, si sceglie il valore più idoneo;

La pedissequa descrizione di tutte le operazioni effettuate nel corso dei passi 6-8 di tale algoritmo sarebbe troppo lunga e, per essere realmente utile, richiederebbe una conoscenza molto

approfondita sia degli algoritmi caratteristici dell'analisi delle immagini sia dei comandi disponibili sulla piattaforma Matlab.



Fig.11: - Canny2_dir2.jpg

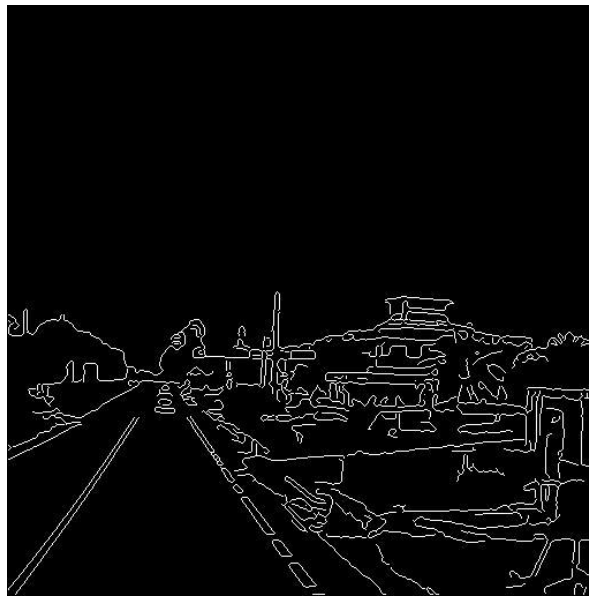


Fig.12: - Canny2_dir1.jpg

4.2.5.5 Algoritmo 8: Individuazione dei segnali verticali.

La procedura utilizzata opera nel seguente modo:

1. Determina con il metodo di Otsu una soglia per ciascuno dei tre piani cromatici RGB; combina i risultati delle tre immagini binarie ottenute per sogliatura; si ottiene, quindi, un immagine (A1) binaria in cui sono presenti solo le porzioni di colore molto chiaro (quasi bianco) ;
2. Si opera una trasformazione, da RGB ad HSV, dello spazio dei colori dell'immagine;
3. Si sogliano i piani della cromaticità (H) e della saturazione (S) dell'immagine trasformata al fine di distinguere le porzioni dell'immagine in cui sono presenti i colori rossi (A2) e blu (A3); i valori di soglia da impiegati per la ricerca di tali colori sono stati preliminarmente fissati e dinamicamente rivisti in base al valore di soglia ottenuto con Otsu;
4. le immagini segmentate (A1, A2 e A3) si modificano mediante alcune operazioni morfologiche tese ad ridurre il "rumorosità" ed ottenere zone chiuse e connesse (si indicano ancora con A1, A2 e A3 le immagini così modificate);
5. si generano tutte le immagini derivanti dalla ammissibile composizione (intersezione) a due a due delle tre immagini (A1, A2 e A3) già trovate;
6. in base alla distanza, in termini di pixel, delle porzioni caratterizzate da colori differenti si individuano le zone in cui potrebbe presente un segnale verticale; in questo passo si tiene conto anche della disposizione dei colori (la Normativa italiana non prevede, infatti, segnali bianchi con all'interno un colore blu, ovvero cartelli rossi circondati da blu, etc.);
7. si verifica che i rapporti tra le grandezze geometriche (larghezza, altezza ed area) delle zone in cui viene segnalato un possibile segnale rientrino entro certi limiti che si deducono dalle dimensioni reali e prescritte dalle Norme.

Il risultato della procedura è sintetizzato dalle immagini riprodotte in Fig.13.

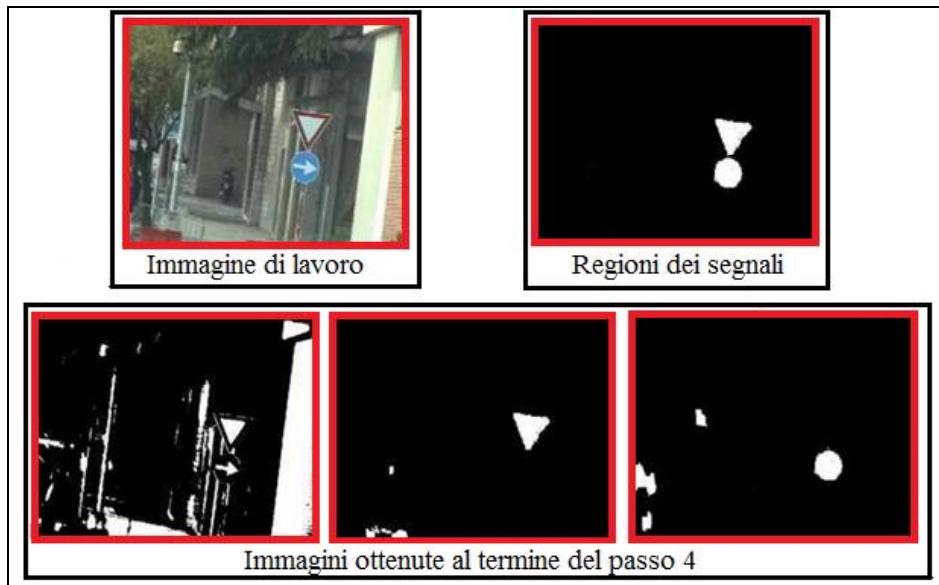


Fig.13: - Individuazione dei segnali

Le regioni delle immagini che hanno le caratteristiche colorimetriche ed i requisiti sopra richiesti individuano un possibile segnale stradale. Le regioni, individuate automaticamente dalla procedura descritta, possono, però, rilevare la presenza di un segnale laddove non esiste (falso positivo), ovvero non rilevare la presenza di un segnale effettivamente esistente (falso negativo). L'esperienza personale ha evidenziato che sono molto pochi i casi in cui si presenta falso negativo (segnali fortemente mascherati o quasi totalmente occlusi); sono più frequenti i casi di falsi positivi.

Si è anche implementato un algoritmo che permette, una volta individuate le zone d'interesse delle immagini, il riconoscimento e la classificazione del segnale. Tale riconoscimento si fonda sul grado di "somiglianza" tra uno dei template (immagini dei segnali previsti dalla Normativa) opportunamente preparati e le regioni trovate. Le caratteristiche colorimetriche e di forma di alcuni segnali sono tali che difficilmente si possa incorrere in

errori nella fase di riconoscimento. Per altri segnali, invece, il riconoscimento può risultare errato specialmente se esso dipende dalla forma dell'ideogramma interno al segnale stesso. Un parziale mascheramento del segnale, una sua modesta deformazione, una angolazione, rispetto alla direzione di avanzamento del veicolo, non corretta e condizioni di illuminamento della scena non ideali non consentono, talvolta, il corretto riconoscimento automatico. Si deve ammettere che le capacità mentali di un guidatore o di un operatore che esamina le immagini della strada sono tali da riconoscere, laddove una procedura informatica fallisce miseramente, un segnale fortemente occluso o mascherato in base a poche informazioni visive. In base a quanto detto, è preferibile che il riconoscimento dei segnali sia effettuato da un operatore esperto il cui compito risulta, però, notevolmente semplificato da una preliminare individuazione automatica, sempre molto precisa ed affidabile, dei segnali e dal riconoscimento dei segnali inequivocabili.

4.2.5.6 Algoritmo 9: organizzazione del DBS e il generazione del grafo.

Per la strada in esame e per ogni FS, gli algoritmi precedentemente descritti provvedono a inserire i dati via determinati nei campi delle tabelle sotto elencate e conformate in modo da essere compatibili con quelle previste dal GDF:

- 3 tabelle per le giunzioni: 1 prevista da NCS, contenente gli attributi globali; 1 contenente i dati essenziali dell'elemento stradale a cui fare riferimento, una descrizione generale ed una nota riempita dal operatore; 1 contenente gli interventi manutentori;
- 2 tabelle per le aree di traffico: 1 prevista da NCS, contenente gli attributi globali; 1 contenente i dati essenziali dell'elemento stradale a cui fare riferimento,

una descrizione generale ed una nota riempita dal operatore;

- 18 tabelle per l'elemento stradale: 1 prevista da NCS, contenente gli attributi globali, 16 contenenti gli attributi segmentati, 1 contenente una descrizione generale ed una nota riempita dal operatore; 1 contenente gli interventi manutentori o di altro tipo.

Malgrado la duplicazione di alcuni di dati, la loro gestione (memorizzazione, correzione, richiamo) risulta molto semplice e veloce.

Ripetendo la procedura per altre strade si ampliano progressivamente gli elenchi presenti nel DBS che sono:

- Elenco degli elementi stradali;
- Elenco delle aree di traffico;
- Elenco delle giunzioni;
- Elenco delle FS.

In tali elenchi sono riportati i riferimenti ai file che contengono le informazioni complete in merito all'elemento di interesse. Una semplice procedura permette di riorganizzare i dati contenuti del DBS seconda l'architettura del GDF descritto dalla Norma.

Le coordinate geografiche di tutte le FS determinate permettono di generare un file del tipo DXF (leggibile da CAD) in modo da generare un grafo degli elementi stradali esaminati. Il grafo risulta, ovviamente, tanto più completo ed utile quanto più elevato è il numero degli elementi stradali elaborati.

Bisogna precisare, che per semplicità espositiva si è fissata l'attenzione su una data strada. In realtà la procedura consente, a partire da un punto di una data strada, di ricercare tutte le strade presenti in un definito comprensorio territoriale (Comune, Provincia, Regione o zona appositamente delimitata). Infatti, i dati contenuti nella matrice EC1 (giunzioni e/o intersezioni) permettono di estendere progressivamente la ricerca alle strade intersecate. La ricerca viene arrestata solo se

tutte le strade presenti nell'area di interesse sono interamente contenute nell'area o raggiungono i confini dell'area stessa.

4.2.5.7 Algoritmo 10: gestione dei dati nella fase di generazione del DBS.

I dati inseriti nel DBS possono essere completati e/o corretti dall'operatore che presiede, in questa prima fase, alla acquisizione e popolazione del DBS. Tale procedura è perfettamente identica a quella descritta nella fase successiva in cui l'operatore è un tecnico scelto dall'Ente Gestore e/o Concessionario abilitato alla gestione del DBS.

4.3 FASE 2: Gestione del DBS da parte degli utenti.

Il software creato utilizza due maschere interattive:

- G.U.I. 1: contenente le credenziali per l'accesso al servizio;
- G.U.I. 2: per il completamento/aggiornamento dei dati del DBS.

Una volta consentito l'accesso ad una tipologia di utente, gestito attraverso la GUI 1, viene creata, fornendo il CODICE PERSONALE GUEST\R\W, una cartella "gemella" di quella presente sul server in cui saranno memorizzati i dati su cui l'utente può intervenire. Il nome di tale cartella sarà costituito dalle seguenti informazioni:

- ✓ USER;
- ✓ ID;
- ✓ Nome del tratto analizzato;

il path di tale cartella sarà identificato dalla cartella il cui accesso è consentito da parte del fornitore del servizio.

Nella fase di completamento/aggiornamento l'utente/operatore può:

- ✓ correggere le eventuali imprecisioni dei dati ottenuti automaticamente e riportati nelle diverse tabelle;
- ✓ inserire i dati mancanti ma previsti dal “*Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 1/6/2001*”;
- ✓ associare (in nota) altre informazioni utili agli Enti Gestori in merito agli interventi manutentori effettuati o da effettuare od altre informazioni.
- ✓ Inserimento nel DBS di eventuali immagini registrate per conto degli Enti, di cartografia o di quanto altro disponibile per le finalità volute;

4.3.1 Struttura G.U.I. 1: gestione delle credenziali

Nella G.U.I. 1 sono richieste le informazioni atte ad identificare in maniera univoca il richiedente del servizio:

- ✓ *ID*: codice che identifica la tipologia dell'utente. Questo può appartenere ad una delle seguenti: Regione, Provincia, Comune, Privato;
- ✓ *USER*: identificativo assegnato dal fornitore o scelto dal richiedente;
- ✓ *PASSWORD*: chiave di accesso

Se i dati inseriti sono corretti, si definisce la porzione del DataBase per il quale il richiedente è stato abilitato.

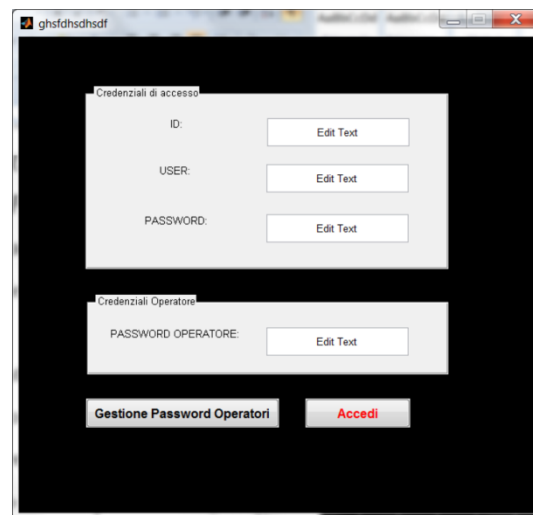


Fig.13: - GUI di accesso

Ultimata questa fase e per il primo utilizzo, saranno richiesti (se il richiedente il servizio lo ritiene opportuno) i codici personali di accesso degli operatori impegnati nella redazione del catasto. Per gli utilizzi successivi, l'operatore dovrà inserire solo il proprio codice personale.

L'inserimento corretto di queste informazioni porta in maniera automatica all'apertura della G.U.I. 2.

4.3.2 Struttura G.U.I. 2 - Analisi e Dati Catasto

La G.U.I. 2 è costituita da quattro aree distinte:

- A)** Due aree (definite FIG_A e FIG_B) in cui vengono visualizzate immagini che si aggiornano automaticamente a seconda della operazione che l'utente sta effettuando. A queste due aree sono affiancate, a seconda della operazione, da pulsanti e/o dei cursori utili per la gestione delle immagini.
- B)** Una area (definita TAB_A) in cui appare una delle tabelle associata con le immagini della strada visualizzata in FIG_A e FIG_B. In analogia con quanto previsto dal Catasto Informatizzato delle Strade sono state predisposte 24 tabelle la cui attivazione/disattivazione è regolata dai pulsanti presenti nell'area successiva..
- C)** Una area di gestione (GES.A) in cui sono riportati i pulsanti, tabelle e quanto altro serve la gestione

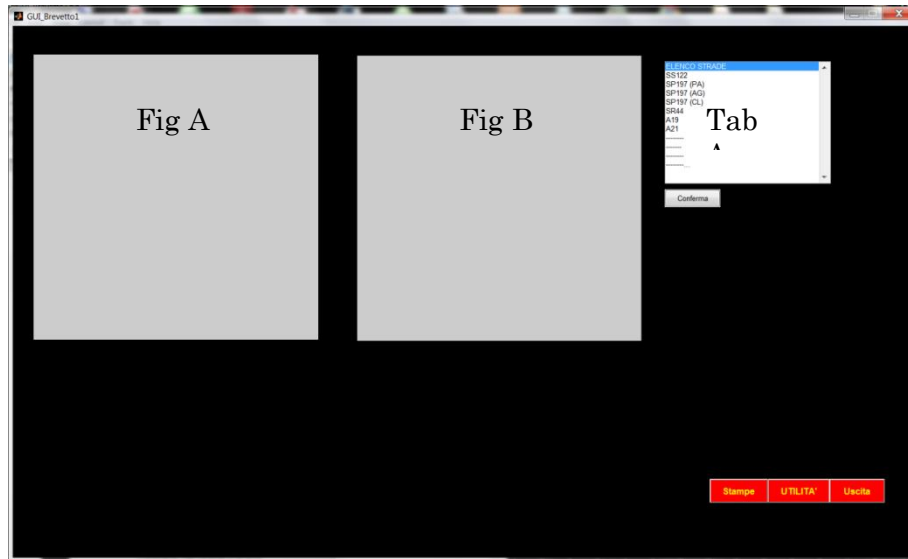


Fig.14: - GUI di Analisi e Catasto

Non appena si attiva G.U.I. 2, viene visualizzata in FIG_A la mappa associata al DBS desunta dal codice ID della G.U.I. 1. In GES_A comparirà l'elenco delle strade presenti nel DBS. Selezionata (con un click) una strada in elenco, si aggiorna la FIG_A evidenziando la strada scelta. Dopo aver confermato la scelta (pulsante 'Conferma' in GES_A), l'utente dovrà scegliere sul tipo di elemento su cui intende operare:

- ✓ Sezione corrente: per la gestione dei dati relativi agli attributi segmentati dell'elemento stradale (pulsante "Sezioni" in GES_A);
- ✓ Giunzioni: per la gestione dei dati relativi alle giunzioni o intersezioni (pulsante "Giunzioni" in GES_A);
- ✓ Arre di traffico: per la gestione dei dati relativi alle aree di traffico (pulsante "Aree" in GES_A);
- ✓ Stampe: per gestire le stampe (pulsante 'Stampe' in GES_A);
- ✓ Uscita: chiusura dell'applicazione (pulsante 'Chiudi' in GES_A)

- ✓ Altre utilità :(da definire) (pulsante 'Altro' in GES_A)

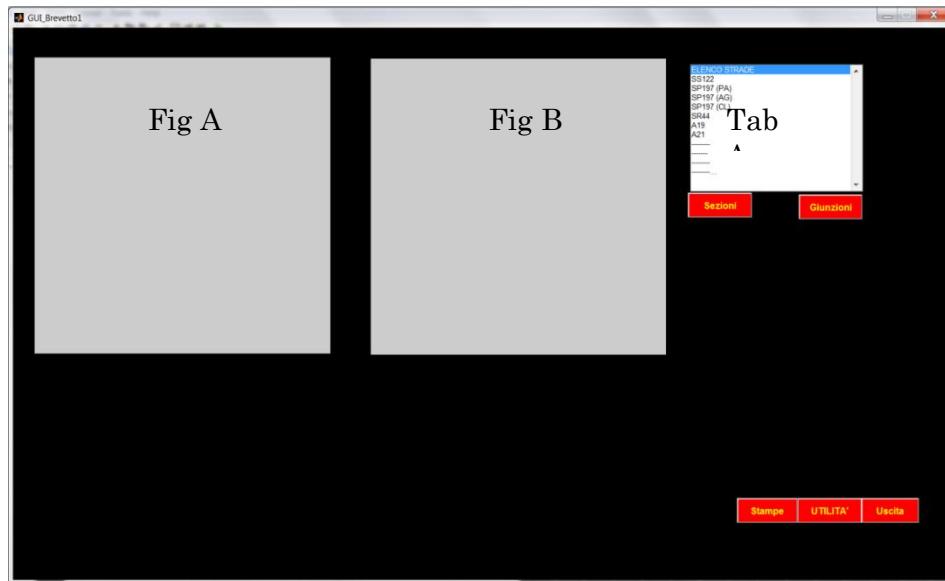


Fig.15: - GUI di Analisi e Catasto, fase di selezione

4.3.2.1 Sezione corrente

In FIG_A verrà evidenziato un punto posto circa a metà dello sviluppo della strada stessa e per il quale si dispone di immagini fotografiche da terra (FS). In FIG_B appare l'immagine ingrandita della zona intorno al suddetto punto e vengono anche riportate le coordinate geografiche del punto stesso. In FIG_B sono riconoscibili le sezioni stradali in corrispondenza delle quali sono disponibili le altre FS. Alcuni pulsanti associati alle FIG_A e a FIG_B permettono di "spostare l'attenzione" su altri punti della strada per i quali si dispone di FS. Non appena l'utente ha trovato il punto di interesse, clicca sul pulsante 'Conferma' presente in GES_A.

In GES_A sono presenti un pulsante 'Chiudi' (chiude l'applicazione) un pulsante 'Indietro' per ritornare alla fase

precedente. 'STAMPA per le operazioni di stampa dei dati e\o delle immagini.



Fig.16: - GUI di Analisi e Catasto, fase di selezione "Sezione Corrente"

Ottenuta la "Conferma", nella FIG_A compare l'immagine fotografica a quota terreno della sezione scelta. Accanto alla FIG_A appaiono i pulsanti (tipo "slider - gain") per modificare in punto di vista (6 possibili direzioni).

Al tempo stesso, nella GUI 2 appare la lista delle tabelle presenti nel DBS.

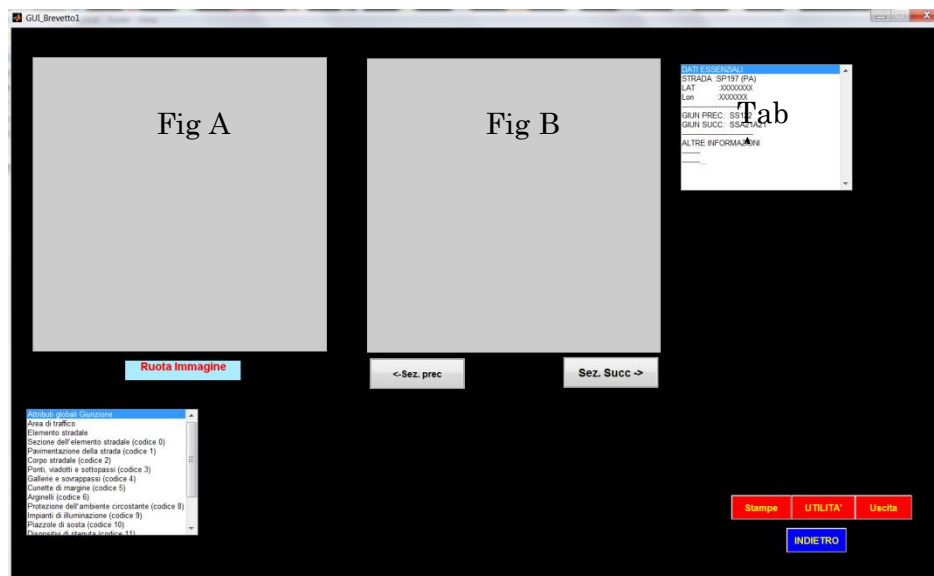


Fig.17: - GUI di Analisi e Catasto, fase di selezione

Cliccando una delle “denominazioni” presenti in tale lista si apre la relativa tabella. Cliccando su una “denominazione” diversa dalla precedente si richiama la tabella voluta.

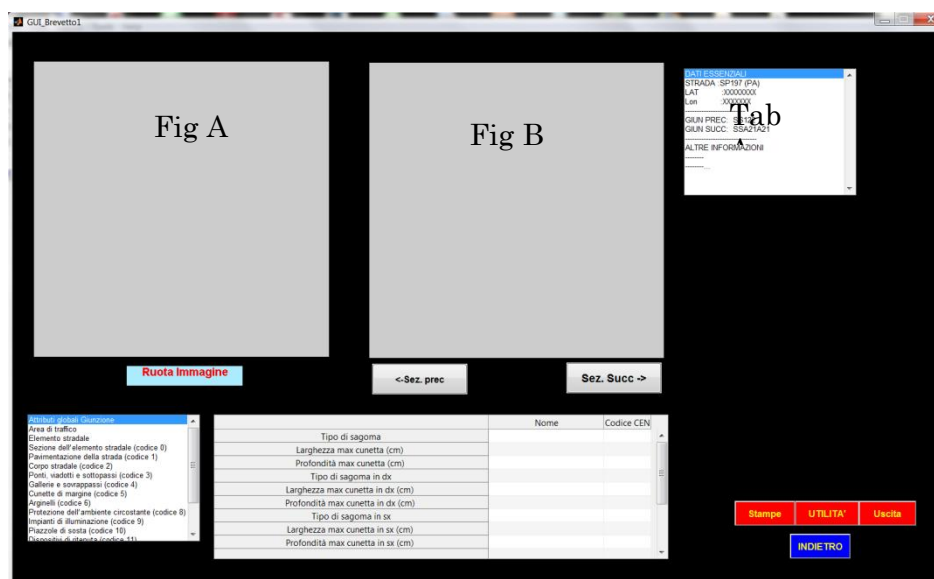


Fig.18: - GUI di Analisi e Catasto, fase di selezione, “Tabelle e Salvataggio”

Cliccando, invece, sui pulsanti associati al cambiamento della sezione (FIG_B) in esame o sul pulsante “Indietro” o “Chiudi” in GES_A viene chiesta la conferma della registrazione, nel formato desiderato (di default è ".xls"). I dati delle tabelle vengono memorizzati sia nella cartella del computer dell'utente sia nel DataBase presente sul server.

Opzionalmente l'utente può anche caricare l'immagine satellitare.

4.3.2.2 Giunzioni

Nella GUI 2 comparirà la lista delle giunzioni presenti lungo la strada in esame che sono organizzate e catalogate secondo numerazione progressiva.

Nel primo display comparirà l'immagine della zona desiderata con evidenziate le giunzioni con il relativo codice identificativo. Il secondo display visualizzerà in dettaglio la giunzione scelta, a fianco vi è un pulsante che abilita la visualizzazione delle tabelle contenenti le relative voci di catasto. Una volta completate le tabelle sarà abilitata l'opzione di salvataggio, sia sul terminale dell'utente che sul DataBase (il formato di default è ".xls").



Fig.19: - GUI di Analisi e Catasto, fase di selezione, “Tabelle e Salvataggio”

Ultimate le operazioni di completamento delle tabelle con un opportuno pulsante si passa alla giunzione successiva azzerando il contenuto delle tabelle precedentemente memorizzate.

CAPITOLO 5

Conclusioni

Le immagini a livello del piano stradale (FS) prelevate da Google sono perfettamente analoghe a quelle catturate da fotocamere a bordo di veicoli utilizzati per i rilievi ad elevate prestazioni (rilievo dinamico) . Le immagini satellitari (IS) possono, invece, essere considerate un surrogato, meno preciso ed affidabile, di una restituzione aerofotogrammetrica o di ortofoto.

La procedura presentata ha la peculiarità di intersecare i dati, in termini sia di coordinate geografiche sia di caratteristiche geometriche delle infrastrutture, ricavati da diversi tipi immagini. Per date coordinate geografiche, infatti, la larghezza della strada, ad esempio, può ricavata sia dalle immagini georeferenziate delle fotocamere a bordo del veicolo sia da immagini satellitari o da ortofoto. Alcuni dati, invece, possono essere ricavati solo dalle immagini satellitari o dalle ortofoto e non dalle foto a livello strada (e viceversa). Si pensi, ad esempio, alla inclinazione degli accessi che può essere stimata solo disponendo di immagini catturate da posizione elevate della strumentazione di ripresa.

Per la formazione rapida e poco costosa del GDF, si devono sfruttare a pieno le potenzialità offerte dall'analisi delle immagini di cui solo una parte è stata messa in luce nella presente tesi. Tali potenzialità possono aumentare e la qualità (precisione) dei dati ottenibili può essere notevolmente migliorata utilizzando immagini digitali georeferenziate con un livello di definizione superiore a quello che caratterizza le immagini utilizzate nel corso della procedura proposta.

Il DBS generato dalla procedura permette di generare il grafo della rete stradale, presente sul territorio o di pertinenza di un singolo Ente, e di disporre delle caratteristiche geometriche dei singoli elementi del grafo. Le informazioni così ottenute, pur con le opportune cautele derivanti dal livello di precisione dei dati, possono essere utilmente impiegati nella fase di ottimizzazione della gestione, a breve media e lunga scadenza, delle risorse disponibili nei settori dell'esercizio, della manutenzione del miglioramento ed ampliamento delle reti.

Una approssimata conoscenza delle caratteristiche fisiche e funzionali dei singoli elementi delle infrastrutture e degli altri dati che dovrebbero essere presenti nell'archivio (traffico, incidentalità, inquinamento), in presenza di una irrefrenabile crescita, in termini quantitativi e qualitativi, della domanda di trasporto su gomma, sono indispensabili per le scelte "politiche" che influiscono sulla accessibilità, mobilità, efficienza operativa, sicurezza della circolazione, contenimento dell'impatto ambientale, sviluppo socio-economico, impatti sociali, valorizzazione del patrimonio, affidabilità dell'esercizio in condizioni critiche.

Alla luce delle problematiche riscontrate per creazione di un DBS contenente tutti i dati previsti dal GDF e tenendo anche conto delle critiche avanzate dagli Enti, pur riconoscendo la bontà dell'impianto del GDF, sarebbe opportuno:

- Analizzare, alla luce delle apparecchiature oggi disponibili e delle potenzialità offerte dall'analisi delle immagini, le metodologie di rilievo per generare un elenco A esaustivo dei dati che possono essere rilevati in tempi ragionevoli e a costi contenuti;

- Definire univocamente gli standard delle metodologie di acquisizione dei dati e delle immagini; implementare gli algoritmi che gli Enti devono utilizzare per l'elaborazione immagini digitali al fine di ricavare i dati possibili;
- Individuare le applicazioni che, a livello locale e nazionale, richiedono il ricorso al GDF; generare, quindi, un elenco B delle informazioni indispensabili e della loro precisione nell'ambito di ciascuna applicazione possibili;
- Determinare, in base al confronto tra gli elenchi A e B, le eventuali misure integrative le loro modalità di rilievo; stabilire, in base alla stima del costo per il rilievo di ciascuna di tale misure, l'opportunità o meno di eseguire il loro rilievo solo dove e quando serve;

In tale ottica, senza un aggravio di costi eccessivo, si potrebbero, ad esempio, rilevare con apparecchiature, già in commercio, le caratteristiche superficiali del manto associandole con immagini della pavimentazione catturate da apposite fotocamere.

BIBLIOGRAFIA

Isabelle Bloch “Some aspects of Dempster-Shafer evidence theory for classification of multi-modality medical images taking partial volume effect into account”, , Ecole Nationale Supérieure des Telecommunications, Departement Images, 46 rue Barrault, 75634 Paris Cedex 13, France, L Bhoch/Pattern Recognition Letters 17 (1996) 905-919;

YE Fa-mao, SU Lin e TANG Jiang-long; “Automatic Road Extraction Using Particle Filters from High Resolution Images”, Dec. 2006 J. China Univ. of Mining & Tech. (English Edition) Vo1.16 No.4 490 - 493;

Lili Yun e Keiichi Uchimura “USING SELF-ORGANIZING MAP FOR ROAD NETWORK EXTRACTION FROM IKONOS IMAGERY”;; Graduate School of Science and Technology Kumamoto University, International Journal of Innovative Computing, Information and Control ICIC International °c 2007 ISSN 1349-4198 Volume 3, Number 3, June 2007 pp. 641—656;

Fischler, M. Tenenbaum, J. and Wolf, H. 1981. Detection of Roads and Linear Structures in Low Resolution Aerial Images Using Multi-Source Knowledge Integration Techniques. CGIP, 15(3): pp. 201-223;

M. Mokhtarzade, M. J. Valadan Zoej, H. Ebadi “AUTOMATIC ROAD EXTRACTION FROM HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES USING NEURAL NETWORKS, TEXTURE ANALYSIS, FUZZY CLUSTERING AND GENETIC ALGORITHMS”, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B3b. Beijing 2008, 549 556;

Mokhtarzade, M., Ebadi, H., and Valadan Zoej, M.J., 2007. Optimization of Road Detection from High-Resolution Satellite Images Using Texture Parameters in Neural Network Classifiers. Canadian Journal of Remote Sensing. 33(6), pp. 481-491;

Mokhtarzade, M., and Valadan Zoej, M.J., 2007. Road detection from high resolution satellite images using artificial neural networks. International journal of applied earth observation and geoinformation, 9(1), pp. 32-40;

Zhang, Q., and Couloigner, I., 2006. Benefit of the angular texture signature for the separation of parking lots and roads on high resolution multi-spectral imagery. Pattern Recognition Letters. 27(9), pp. 937-946;

Mohammadzadeh, A., Tavakoli, A., and Valadan Zoej, M.J., 2006. Road extraction based on fuzzy logic and mathematical morphology from pan-sharpened IKONOS images. The Photogrammetric Record, 21(113), pp. 44-60;

Mena, J.B., 2006. Automatic vectorization of segmented road networks by geometrical and topological analysis of high resolution binary images. Knowledge based systems. 19(8), pp. 704-718;

Barzohar, m .D. B. Cooper. Automatic finding of main roads in aerial images by using Geometric Stochastic models and

estimation, IEEE trans. PAMI, vol.18,no.7 , pp. 707-721,July,1996;

Park S.R.,T. Kim, "Semi-Automatic road Extraction algorithm from IKONOS images using template matching, Proc. 22nd Asian Conference on remote Sensing, pp 1209-1213,2001;

Jiuxiang Hu, Anshuman Razdan, John Femiani, Peter Wonka, Ming Cui "FOURIER SHAPE DESCRIPTORS OF PIXEL FOOTPRINTS FOR ROAD EXTRACTION FROM SATELLITE IMAGES", Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference, Sept. 16 2007Volume: 1 49- 52;

Mayer, H., Laptev, I., Baumgartner, A., Steger, C.T., Automatic Road Extraction Based on Multi-Scale Modeling, Context, and Snakes,IAPRS(XXXII), Part 3-2W3, 1997, pp. 106-113;

Manuele Bicegoy, Silvio Dalfini, Gianni Vernazza e Vittorio Murino "AUTOMATIC ROAD EXTRACTION FROM AERIAL IMAGES BY PROBABILISTIC CONTOUR TRACKING", Image Processing, 2003. ICIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference, 14-17 Sept. 2003, Volume: 3, On page(s): III- 585-8 vol.2;

Armin Gruen, Haihong Li, "Automation of Road Extraction from Space and Aerial Images" Proceedings of the 16th Asian Conference on Remote Sensing, Nakhon Ratchasima, Thailand 20-24 November 1995, pp. E-3-1 to E-3-7, (together with H. Li);

Emmanuel Christophe and Jordi Inglada, "ROBUST ROAD EXTRACTION FOR HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES", Image Processing, 2007. ICIP 2007. IEEE International Conference, Sett. 16 2007, Volume: 5, pag: 437-440;

U. Stilla, K., Hedman "ROAD EXTRACTION FROM HIGH RESOLUTION MULTI ASPECT SAR IMAGES",

Photogrammetry and Remote Sensing, Technische Universitaet Muenchen, Proceedings of 28th General Assembly of International Union Radio Science (URSI), New Delhi, (Invited Paper);

Song, Wenbo, T.L. Haithcoat and J.D. Hipple. 2001. An integrated approach of automatic road extraction and evaluation from remotely sensed imagery. Proceedings of the International Cartographic Conference (ICC2001), Beijing, China

Poonam S. Tiwari . H. Pande . Ashwini Kumar Pandey, "Automatic Urban Road Extraction using Airborne Laser Scanning/Altimetry and High Resolution Satellite Data", Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 37, No. 2. (1 June 2009), pp. 223-231.;

A. Mohammadzadeh, M. Valadan Zoej, A. Tavakoli "Automatic main road extraction from high resolution satellite imageries by means of particle swarm optimization applied to a fuzzy-based mean calculation approach", Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 37, No. 2. (1 June 2009), pp. 173-184;

Thierry G'eraud, "Fast Road Network Extraction in Satellite Images using Mathematical Morphology and Markov Random Fields", EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Volume 2004 , (January 2004), Pages: 2503 - 2514;

Ramesh Marikhu Matthew N. Dailey Stanislav Makhanov Kiyoshi Honda, "A Family of Quadratic Snakes for Road Extraction", Computer Vision - ACCV 2007, 8th Asian Conference on Computer Vision, Tokyo, Japan, November 18-22, 2007, Proceedings, Part I 2007;

Renaud P'eteri, Julien Celle and Thierry Ranchin "DETECTION AND EXTRACTION OF ROAD NETWORKS FROM HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES", , Remote

Sensing & Modeling Group, Ecole des Mines de Paris, B.P. 207 - 06904 Sophia Antipolis cedex, France;

“Results of road extraction from satellite images” disponibile sul sito vplab.iitm.ac.in/demons/Road_Extraction.pdf;

Mena, J.B., and Malpica J.A., 2005. An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution satellite imagery. *Pattern Recognition Letters*. 26(9), pp. 1201-1220.

Mena, J.B., 2003. State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification. *Pattern Recognition Letters*, 24(16), pp. 3037–3058.

Doucette, P., Agouris, p., Stefanidis, A., and Musavi, M., 2001. Self-organised clustering for road extraction in classified imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 55(5/6), pp. 347-358.

Airault S., Ruskone R., Jamet O. Road detection from aerial images : a cooperation between local and global methods, image and Signal Processing for Remote Sensing, *Satellite Remote Sensing I*, SPIE,vol. 2315,pp. 508-518,Rome(Italy) (1994).

Porikli, F.M., "Road Extraction by Point-wise Gaussian Models", *SPIE Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral and Ultraspectral Imagery IX*, Vol. 5093, pp. 758-764, September 2003;

Yan Li and Ronald Briggs “Automatic Extraction of Roads from High Resolution Aerial and Satellite Images with Heavy Noise”, , *World Academy of Science, Engineering and Technology* Vol. 54, 2009, pp. 416-422.

Xuan Li, Yanli Qiao, Weining Yi, Zhifeng Guo, "The Research of Road Extraction for High Resolution Satellite Image", 21-25 July 2003, Volume: 6, pag.: 3949- 3951 vol.6;

HU Hua LIU Ying WANG Xun ZHU Xia-jun XU Bin, "Road Extraction in Remote Sensing Images Using a New Algorithm", 15-17 Aug. 2008, pag.: 779-782;

Gruen, A. and H. Li, "Road Extraction from aerial and satellite images by dynamic programming," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 11-21, Vol. 50, No. 4, 1995.

Gruen, A., Li, H., 1994: Semi-automatic road extraction by dynamic programming, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 30, part 3/1, pp. 324-332;

Sistemi informativi e Governo Integrato del territorio;

Analisi di immagini e generazione di ambienti tridimensionali virtuali finalizzati al supporto decisionale, da <http://www.graphitech.it/Stagethesis/index.html>;

Le Attività per le Informazioni Territoriali e la Telematica da <http://www.regione.abruzzo.it/xcartografia/docs/attivita/5attivita.pdf>

Capitolato Tecnico per l'acquisizione digitale vettoriale di mappe del Catasto Terreni anno 2005, da http://www.sardegna-territorio.it/documenti/6_83_20061020091744.pdf;

Valorizzazione e sviluppo sostenibile del territorio: "Progetto: Fornitura di un software per la gestione del catasto stradale integrato su un sistema informativo territoriale su tecnologia web." da <http://www2.provincia.perugia.it/Focus/Bilancio-s/Anno-2006/Linea-di-r2/06---LR3---2-Viabilit-.pdf>;

Atti 12° conferenza nazionale ASITA – L'Aquila 21 – 24 Ottobre 2008 “Un Sistema Informativo Territoriale geoambientale per la provincia di Avellino” da <http://www.earth-prints.org/bitstream/2122/4853/1/097.pdf>;

Domenico Dardano, Luca della Santina Catasto dei manufatti stradali - Proposte ed esperienze della Provincia di Pisa, Ministero LL.PP. - Convegno Nazionale "Il Catasto Stradale: Problematiche, Proposte e Prospettive" (Roma, 23 marzo 1993);

G. Bambi, M. Barneschi, S. Schweizer, “METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE DI UN DATABASE PER LA CREAZIONE E GESTIONE DI UN CATASTO PERCORSI PER RETI ESCURSIONISTICHE” AIIA 2007: L'e- nell'ingegneria agraria, forestale e dell'industria agro-alimentare, Firenze, 25-26 ottobre 2007;

Quinta rassegna nazionale: “Comune di Bologna Il Sistema informativo territoriale” da http://www.planum.net/archive/documents/Bologna_C_1.pdf;

Conferenza Federmobilità 14 dicembre 2006: “Realizzazione del Catasto Strade della Provincia di Cosenza” da <http://89.97.190.195/portale/portalmedia/2008-11/catastoSt.pdf>;

Mondo GIS ottobre 2007: “Il GIS a supporto del processo di innovazione del Montefeltro”;

Mondo GIS 20 Nov Dic-2007: “GIS Pak, WebGIS, PocketGIS Suite di applicazioni GIS Web Oriented basate interamente su Tecnologia Autodesk”;

PROVINCIA DI BOLOGNA GENNAIO 2004: “S.I.S.S. Sistema Informativo Sicurezza Stradale” da www.ord-ing-bo.it/comm_informatica/InterventoMarcoMondini.ppt;

Progetto di Massima del Piano Territoriale Provinciale della
Provincia Regionale di Trapani: Sistema Informativo
Territoriale da:

http://www.provincia.trapani.it/Menu_main/piano/pdf/PTP2009_6%20sistema%20Informativo%20Territoriale_new.pdf.

“Fondamenti di Geodesia e Cartografia” Ing. Andrea Lingua,
Arch.Elena Albery POLITECNICO DI TORINO Dipartimento
di Georisorse e Territorio

*“Computer Manual in MATLAB to accompany
PatternClassification”*, endendDavid G. StorkElad Yom-Tov,

“Corso di AchView 9”, Manuale d’uso edizione 2005
“Visualizzazione ed elaborazione dei dati con ArchGIS”, Dario
Flaccovio Editore

“CENNI DI CARTOGRAFIA”, tratte da Regione Piemonte
Manuale della Carta Tecnica Regionale Numerica

*“Rilevamento e Cartografia per la previsione e la gestione del
rischio”* Ing. Marco Scaioni Politecnico di Milano – Polo
Regionale di Lecco

*“SIMD Architecture for Image Segmentation using Sobel
Operators Implemented in FPGA Technology”*, Roberto López
Rosas¹, Adriano de Luca¹, Francisco Barbosa Santillan
Department of Electrical Engineering, CINVESTAV-IPN,
Mexico D.F., Mexico, Settembre 7-9, 2005

*“Realizzazione di un modello digitale della superficie terrestre e
marina e dei suoi attributi morfologici: l’Arcipelago Pontino
occidentale”*, Alessandro Bosman, Francesco Chiocci, Maria
Marsella, Luca Rizzo, Università “La Sapienza” di Roma

“Applicazione di un algoritmo di segmentazione a immagini satellitari ad alta risoluzione”, Maria Rosaria Della Rocca, Margherita Fiani, Antonio Fortunato.

Tesi di Laurea *“Confronto tra algoritmi di segmentazione di immagini a colori”*, Marco Lazzaroni, Luca Lorenzoni, Università degli Studi di Brescia 1999/2000

“Segmentazione multirisoluzione e classificazione object oriented di immagini telerilevate”, Gherardo Chirici, Piermaria Corona, Davide Travaglini, Fabrizio Filiberti.

Tesi di Dottorato *“Sistemi Informativi Territoriali per la programmazione e gestione delle infrastrutture stradali”*, Pasqualina Costanza Buono, Università degli Studi di Napoli “Federico II” 2005/2006.

“Il Catasto delle Strade italiano”, D.Magni - Corso di Sistemi Catastali – a.a. 2004/2005.

“UN GIS PER IL CATASTO, LA CLASSIFICAZIONE E LA GESTIONE DEL PATRIMONIO VIARIO DI UN ENTE”, Rosario Colombrita, Filippo Colombrita. Università di Catania - Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale.

*Sistemi informativi e Governo Integrato del territorio
Analisi di immagini e generazione di ambienti tridimensionali
virtuali finalizzati al supporto decisionale*

Le Attività per le Informazioni Territoriali e la Telematica

Capitolato Tecnico per l'acquisizione digitale vettoriale di mappe del Catasto Terreni anno 2005

Valorizzazione e sviluppo sostenibile del territorio: “Progetto: Fornitura di un software per la gestione del catasto stradale

integrato su un sistema informativo territoriale su tecnologia web.”

Atti 12° conferenza nazionale ASITA – L’Aquila 21 – 24 Ottobre 2008 “Un Sistema Informativo Territoriale geoambientale per la provincia di Avellino”

Convegno Nazionale Roma 23/03/1993: “Il Catasto Stradale: problematiche, proposte e prospettive”

*AIIA 2007: Firenze, 25-26 ottobre 2007 L’e- nell’ingegneria agraria, forestale e dell’industria agro-alimentare: **“METODOLOGIE DI PROGETTAZIONE DI UN DATABASE PER LA CREAZIONE E GESTIONE DI UN CATASTO PERCORSI PER RETI ESCURSIONISTICHE”***

*Quinta rassegna nazionale: “**Comune di Bologna** Il Sistema informativo territoriale”*

Tesi di Dottorato: “Un Sistema Informativo per la mobilità e i trasporti”

*Conferenza Federmobilità 14 dicembre 2006: “Realizzazione del Catasto Strade della Provincia di Cossenza”
Siteco “**Road-SIT: SISTEMA INFORMATIVO STRADALE” (depliant);***

Informatica & Servizi: “Suite Cad e GIS”

Mondo GIS ottobre 2007: “Il GIS a supporto del processo di innovazione del Montefeltro”

Mondo GIS 20Nov Dic-2007: “GIS Pak, WebGIS, PocketGIS Suite di applicazioni GIS Web Oriented basate interamente su Tecnologia Autodesk”

PROVINCIA DI BOLOGNA GENNAIO 2004: "S.I.S.S. Sistema Informativo Sicurezza Stradale"

Progetto di Massima del Piano Territoriale Provinciale della Provincia Regionale di Trapani: Sistema Informativo Territoriale

Sisplan Simpro: "PRINCIPI GENERALI DI FUNZIONAMENTO"

